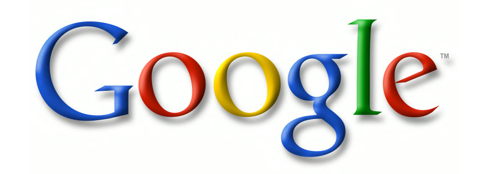
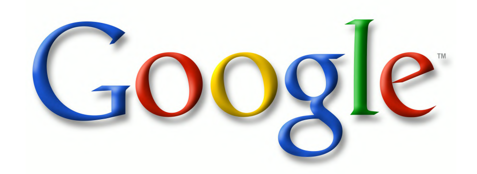




4/ 3/13.



ZEITSCHRIFT

FÜR

BIOLOGIE

VON

C. VOIT,

O. Ö. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE IN MÜNCHEN.

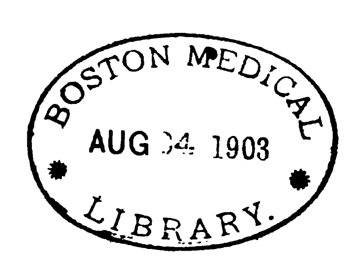
NEUE FOLGE: SECHSUNDZWANZIGSTER BAND.

DER GANZEN REIHE: VIERUNDVIERZIGSTER BAND.

MÜNCHEN UND BERLIN

DRUCK UND VERLAG VON R. OLDENBOURG.

1903.


BOSTON MEDICAL
AUG 1903
LIBRARY.

Inhalt.

Seite

Über Antifermente. I. Von Ernst Weinland. Aus dem physiologischen Institut zu München 1

Weitere Untersuchungen über die Wirkung fluorescierender Stoffe. Von Dr. Oskar Raab. Aus dem pharmakologischen Institut der Universität München 16

Die Bedeutung des Glossopharyngeus für die Innervation des Wiederkauaktes. Von Emil Krüger, Tierarzt in Lobsens. Aus dem Hallerianum zu Bern 28

Über Antifermente. II. Zur Frage, weshalb die Wand von Magen und Darm während des Lebens durch die proteolytischen Fermente nicht angegriffen wird. Von Ernst Weinland. Aus dem physiologischen Institut zu München 45

Die Aschenbestandteile des neugebornen Menschen und der Frauenmilch. Von Dr. Söldner, Grunbach (Württemberg). Mit einer Einleitung von Medicinalrat Dr. Camerer und Schlufsbemerkungen von beiden Autoren 61

Über synthetisch dargestellte einfache und gemischte Glycerinester fetter Säuren. Von Ferdinand Guth aus Heide. Aus dem hygienischen Institut zu Rostock 78

Die Wirkung von Pilocarpin auf die Zersetzungen im tierischen Organismus. Von Otto Frank u. Fritz Voit. Aus dem physiologischen Institut zu München 111

Über den wahren Harnstoffgehalt des menschlichen normalen Harns und eine Methode, denselben zu bestimmen. Von Dr. med. Wm. O. Moor 121

Untersuchungen über die Spannungszustände der Bauchwand, der Magen- und der Darmwand. Von Dr. Georg Kelling, Dresden. (Mit Tafel I bis V.) Aus dem physiologischen Institut der tierärztlichen Hochschule in Dresden. Direktor: Geheimrat Prof. Dr. Ellenberger . 161

Über den Fluorgehalt der Knochen und Zähne. Zweite Mitteilung. Von Dr. Jodlbauer. Aus dem pharmakologischen Institut zu München 259

Seite

Studien über den Tonus. I. Der biologische Bauplan von Sipunculus nudus. Von J. v. Uexküll, Neapel. (Mit Tafel VI) 269

Die Berechnung der Verbrennungswärme mittels der Elementarzusammensetzung. Von Erwin Voit. Aus dem physiologischen Institut der tierärztlichen Hochschule München 345

Über den Brennwert des Sauerstoffs bei einigen physiologisch wichtigen Substanzen. Von Dr. Otto Krummacher. Aus dem physiologischen Institut der tierärztlichen Hochschule zu München 362

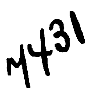
Über den Einfluſs verschiedener Nahrungsmittel auf den Wassergehalt der Organe und den Hämoglobingehalt des Blutes. Von Jiro Tsuboi. Aus dem physiologischen Institut zu München 376

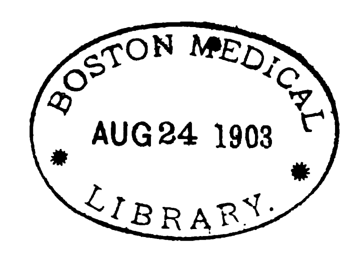
Zur Deutung der Entstehung der vom vierten Ventrikel aus erzeugbaren Hydrurien. Von C. Eckhard in Gieſsen 407

Zu dem Aufsatz von Dr. G. Kelling, Bd. 44 dieser Zeitschrift, S. 216. Von C. A. Ewald, Berlin 441

Kritik der elastischen Manometer. Von Otto Frank. Aus dem physiologischen Institut zu München 445

Zusatz zu der Abhandlung: »Über den wahren Harnstoffgehalt des menschlichen normalen Harns und eine Methode, denselben zu bestimmen.« Von Dr. med. Wm. Ovid Moor 614





Über Antifermente.

I.

Von

Ernst Weinland.

(Aus dem physiologischen Institut zu München.)

Es ist seit langem eine bekannte Thatsache, dafs die im Darm oder Magen[1]) parasitisch lebenden Tiere, besonders also Würmer aus den Gruppen der Nematoden, Trematoden, Cestoden und Acanthocephalen durch die Verdauungssäfte, die die übrigen Ingesta ohne weiteres zur Lösung bringen, nicht angegriffen werden.

Die Cysticercen, die Larven der Tänien, müssen, um in den Darm zu gelangen, in dem sie sich zum geschlechtsreifen Proglottidentier entwickeln, den Magen passieren. Sie müssen also befähigt sein, dem saueren, pepsinhaltigen Magensaft zu widerstehen. Diese Thatsache ist längst bekannt; ebenso dafs hierbei die eigentliche Blase des Tieres zu Grunde geht und nur Kopf und Hals übrig bleiben.[2]) Ich habe dies bestätigen können in einem Versuch, den ich mit Cysticercus tenuicollis anstellte.

Versuch 31. I. 1902. Acht Exemplare von Cysticercus tenuicollis aus dem Schaf werden mit Pepsin und Salzsäure (bis zur starksauren Reaktion) versetzt, darauf Kohlensäure eingeleitet und die Tiere um 6 h 40′ in den Brutofen (37°) gebracht. Am 1. II. 10 h waren die Körper der Cysticercen,

1) Selbst im Ausführungsgang des Pankreas kommen parasitische Tiere vor, so sah ich z. B. bei einem Delphin reichlich Distomen daselbst.

2) Leuckart, Die Parasiten des Menschen. II. Aufl., Bd. 1. Leipzig 1879—86.

sowie die anhängenden Peritonealreste völlig gelöst (Reaktion sauer), nur die acht Köpfe fand ich unversehrt am Boden liegen.[1])

Dieser Versuch zeigt deutlich, dafs die Köpfe der Cysticercen für die Pepsinsalzsäure nicht angreifbar waren, wohl aber der übrige Teil der in das Verdauungsgemisch gebrachten Tiere. Es ist also hier nicht der Parasit im ganzen geschützt, wie dies Léon Frédéricq annahm, sondern nur ein bestimmter Teil desselben. Dabei ist es weiter bemerkenswert, dafs dieser selbe Cysticercus innerhalb der Gewebe des ersten Wirtstieres (z. B. Schafs), in welchem er sich entwickelte, im ganzen gegen proteolytisches Ferment gesichert war (siehe unten!).

Für diese sehr auffallende Erscheinung der Widerstandsfähigkeit der parasitischen Würmer gegen proteolytisches Ferment hat man verschiedene Erklärungen zu geben versucht.

Diese Resistenz erscheint besonders merkwürdig im Hinblick darauf, dafs die Tiere zum Teil eine sehr zarte Körperhülle besitzen, welche im stande sein mufs, für Nahrungsstoffe durchgängig zu sein, wie z. B. bei den darmlosen Bandwürmern. Man wird daraus ohne weiteres folgern, dafs bei den mit festerer Hülle umgebenen Parasiten, z. B. den Nematoden, diese Haut an sich ebenfalls nicht der schützende Mantel sein kann (Léon Frédéricq[2]), um so mehr nicht, als ja diese Tiere mit der Nahrung, die sie durch den Mund aufnehmen[3]), notwendig auch das im Nahrungsbrei gelöste und verteilte Ferment aufnehmen müssen, auf welchem Wege dieses dann in den Darm der Tiere gelangen mufs, wo die Bedingungen für die Resorption vorhanden sein müssen, ebenso wie an der Leibesoberfläche bei Taenia.

---

1) Bei einem der Köpfe gelang es, in Gelatine (unter CO_2) bei 35° ein geringes Wachstum auf über 1 cm zu erzielen.

2) Léon Frédéricq (Bull. de l'Acad. Royale des Sciences des Lettres et des Beaux-Arts, 47me année, 2. Série, 1878, T. 46 p. 221—222) brachte Ascaris marginata des Hundes ohne Verletzung in Pankreasextrakt und sah sie mehrere Tage lang nicht in Lösung gehen, während die Tiere, wenn er sie zerschnitten hatte, »furent digérés presque intégralement, ne laissant d'eux que leur tégument corné, hyalin.« — Extrakte von Taenia serrata des Hundes waren auf Fibrin ohne Wirkung, dasselbe blieb tagelang intakt.

3) Weinland u. Ritter, Zeitschr. f. Biol. 1902, Bd. 43 S. 490.

Auch das Intaktbleiben des ganzen Tieres kann, wie obiger Versuch zeigte, nicht die Bedingung für den Fermentschutz sein.

Für die gewöhnlich übliche Erklärung dieser Thatsache mufs ich auf eine verwandte Erscheinung zu reden kommen, auf die Frage, weshalb sich Magen und Darm unter dem Einflufs der proteolytischen Fermente nicht selbst verdauen? Es ist natürlich nicht meine Absicht, hier alle Vorstellungen und Hypothesen, die bisher über diesen Punkt aufgestellt worden sind, wiederzugeben, ich beschränke mich auf die wichtigsten und zuletzt hervorgegangenen.

Ich erwähne zuerst die Theorie von Cl. Bernard[1]), nach welcher das Deckepithel einen Schutz für das darunterliegende Gewebe ausüben sollte; dieser Theorie entspricht es nicht, dafs z. B. bei einem Magengeschwür das blofsliegende Gewebe der glatten Muskulatur der Einwirkung des Magensaftes zu widerstehen vermag; auch die Beobachtung von Viola und Gaspardi[2]), dafs die in den Magen eingeführte Milz, wenn die Blutcirkulation in ihr erhalten bleibt, nicht verdaut wird, steht damit im Widerspruch.

Sodann habe ich die Theorie von Pavy[3]) zu nennen, nach welcher die Alkalescenz des Blutes die Magenwand vor dem Angriff der Pepsinsalzsäure schützt. Diese Auffassung ist für den Darm völlig unbrauchbar, da bei diesem das proteolytische Ferment in alkalischer Lösung wirksam ist. Es mufs also im Darm, wo gerade das wirksamste Eiweifsferment auftritt, ein völlig anderes Schutzmoment vorhanden sein, und es ist damit auch für den Magen die Gültigkeit dieser Theorie erschüttert. Auf andere Momente, die hier anzuführen wären, gehe ich nicht ein, da es sich für mich bei den Darmparasiten in erster Linie um das tryptische Ferment handelt.

In erster Linie ist zur Zeit die Auffassung von Matthes[4])

---

1) Cl. Bernard, Leçons de physiol. experim. II, p. 406, Paris 1856.

2) Viola u. Gaspardi, Arch. de Biol. Ital. 1889, XII, p. VII.

3) Pavy, Philosoph. Transactions, 1863, vol. 153 part II p. 161.

4) M. Matthes, Unters. über d. Pathogenese d. Ulc. rotund. ventric. und über den Einflufs von Verdauungsenzymen auf lebendes und totes Gewebe. Habil.-Schrift, Jena 1893.

sowie von Fermi[1]) zu nennen, welche in neuester Zeit diese Frage genau verfolgt haben. Matthes kommt im Laufe seiner Untersuchung zu dem Resultat: »Eiweifsverdauende Enzyme sind gegenüber lebendem, nicht geschädigten Gewebe unwirksam und greifen aus diesem Grunde den Zellbestand des eigenen Organismus nicht an. Die Salzsäure des Magensaftes tötet als Protoplasmagift zuerst die Zellen der durch den Magensaft angreifbaren lebenden Gewebe; die toten Zellen werden dann erst durch das Enzym gelöst.« Es liegt also nach Matthes eine typische und charakteristische Eigentümlichkeit des lebenden Gewebes vor, welche zur Zeit völlig unerklärlich ist, ähnlich dem Living principle von J. Hunter[2]). Wenn z. B. im Magen ein hereingebrachtes lebendes Tier durch Proteolyse gelöst wird, so ist dies nach Matthes eine sekundäre Erscheinung, welcher die Abtötung des lebenden Gewebes durch die Salzsäure vorhergeht, so dafs stets nur totes Gewebe verdaut wird.

Zu etwa ähnlichen Ergebnissen kommt Cl. Fermi bei seinen Untersuchungen; auch er verlegt die Ursache der rätselhaften Erscheinung in das Lebende.« Die Selbstverdauung des Magens, des Pankreas und des Darmes geschieht intra vitam nicht, weil das lebende Protoplasma, diese wunderbare chemische Verbindung, ... mit Leichtigkeit der Wirkung der proteolytischen Enzyme widersteht.«

Auch Bunge[3]) sieht in dem Nichtzustandekommen der Selbstverdauung des Magens eine völlig rätselhafte Erscheinung, die er dem Leben als solchem zuzuschreiben sich gezwungen sieht.

Ich habe nun an einigen Darmparasiten (Ascaris suilla, Taenia expansa[4]), mediocanellata) Versuche über die Ursache dieser Resistenz gegen proteolytische Fermente angestellt.

1) Cl. Fermi, Die Wirkung der proteolytischen Enzyme auf die lebenden Zelle, als Grund einer Theorie über die Selbstverdauung. Centralblatt f. Physiol. 1894, VIII, S. 657.

2) J. Hunter, Philos. Transactions. 1772, June 18.

3) Bunge, Lehrb. d. physiol. u. pathol. Chemie. Leipzig 1887, S. 155 ff.

4) Taenia expansa aus dem Darm des Schafes ist im hiesigen Schlachthaus hie und da zu erhalten. Taenia mediocanellata erhielt ich aus der hiesigen medizinischen Klinik durch die Herren Prof. Dr. May und Prof. Dr. Voit; dieselben waren durch Bandwurmmittel (Extr. Filic) abgetrieben.

Anfangs verfuhr ich in der Weise, dafs ich zu dem mit Quarzsand zerriebenen Brei der Tiere neben Pepsin oder Trypsin Fibrin zusetzte (unter Einhaltung der für das betreffende Ferment erforderlichen Reaktion) und das Gemisch bei 37° unter Toluol aufbewahrte.

Beispiel: 9. II. 1902.

Ascarisbrei (neutral) . . . . 2—3 ccm
Wasser . . . . 9 »
Fibrin (vom Schwein)
Trypsin (extrahiertes Pankreas vom Schwein) . . . . 0,02 g,
Sodalösung mit . . . . 0,07 » Na_2CO_3.

Toluol, um 11½ h in 37° gebracht, zeigt am 11. II. 10 h noch gar keine Veränderung; am 12. II. 10 h ist ein klein wenig gelöst und am 24. II. enthielt das Reagenzrohr noch immer ungelöste Partikel.

Die jeweils angestellten Kontrollversuche ohne Zusatz von Ascarisbrei zeigten völlige Lösung des Fibrins nach zwei bis drei Stunden; eine Wiederholung des Versuches ergab dasselbe Resultat.

Von zwei in analoger Weise mit einem Brei von Taenia mediocanallata des Menschen angestellten Versuchen ergab derjenige, in welchem Trypsin zugesetzt war, ein zweifelhaftes Resultat, dagegen erhielt ich in der mit Pepsin und Salzsäure angestellten Probe ein ausgesprochen positives Resultat. Der Versuch[1]) wurde mit 10 ccm Taeniabrei, 3 cg Pepsin (Merck), 10 ccm Wasser und 0,038 g Salzsäure am 17. II. 4 h bei 37° begonnen, am 24. II. war das Fibrin noch ungelöst, am 15. III. war ein beträchtlicher Teil desselben noch nicht in Lösung gegangen, am 22. IV. war noch immer nicht alles gelöst.

Diese Versuchsanordnung war jedoch wenig klar und durchsichtig; der beigemischte quarzsandhaltige Tierbrei machte eine schnelle und leichte Erkennung des Zustandes, in dem sich das Fibrin befand, unmöglich (dasselbe mufs zu diesem Zweck aus

1) Ich verwendete bei den Versuchen, wo nichts besonderes bemerkt ist, Fibrin vom Schwein, das, unter Alkohol aufbewahrt, vor dem Gebrauch mit Wasser gut ausgewaschen war; wie Cl. Fermi (Zeitschr. f. Biol. Bd. 28 S. 229) zeigte, ist Schweinefibrin besonders leicht löslich, es eignet sich also besonders bei den von mir angestellten Versuchen.

dem Reagenzrohr herausgenommen werden); aufserdem war bei diesem Verfahren nie auszuschliefsen, dafs Reste lebenden Gewebes, Zellen oder Zellteile die Hemmung der proteolytischen Enzyme bewirkten. Nur so viel war aus den Versuchen mit Sicherheit zu entnehmen, dafs die Intakterhaltung des Tieres für den Schutz gegen Fermentwirkung nicht nötig war (siehe oben Léon Frédéricq!).

Ich wählte deshalb den Weg, den ich schon früher[1]) eingeschlagen habe und bediente mich filtrierter ausgeprefster Extrakte.

Beispiele: Ascarissaft XXIV, 1. Pressung 8 ccm Filtrat
Pepsin . . . . 0,015 g
Wasser . . . . 7 ccm
Fibrin vom Schwein
Salzsäure . . . . 0,23 g.
(Mischung reagiert kräftig sauer.)

Toluol; am 17. VI. 1902 10 h 48′ auf 37° gebracht, am 21. VI. noch nicht verändert (nicht gequollen), am 26. VI scheint eine Spur von dem Fibrin abgeschmolzen zu sein.

Die genau in gleichen Mengenverhältnissen angestellte Kontrollprobe quillt sogleich und ist nach einer Stunde gelöst.

Ascarissaft XXIV, 2. Pressung 7 ccm
Trypsin . . . . 0,015 g
Wasser . . . . 8 ccm
Fibrin (vom Schwein)
Sodalösung enthaltend . . . 0,04 g Na_2CO_3.

Mischung reagiert kräftig alkalisch, Toluol. 17. VI. 10 h 48′ auf 37° gebracht, am 23. VI. noch völlig unverändert (nicht gequollen), am 28. VI. zu $^2/_3$ gelöst.

Die genau in gleicher Weise angestellte Kontrollprobe ist nach zwei Stunden gelöst.

In dieser Weise habe ich noch zahlreiche Versuche angestellt, stets war der Erfolg der nämliche, nur in der Stärke des Fibrinschutzes waren beträchtliche Schwankungen vorhanden.

Aus diesen Versuchen ist zu entnehmen, dafs der Fibrinschutz nichts damit zu thun hat, ob die Stoffe des Tieres sich in der Form von Zellen organisiert beisammen finden oder nicht: Sowohl das lebende Tier wie die mit dem klaren,

1) Zeitschr. f. Biol. 1902, Bd. 43 S. 88.

ausgepreſsten Extrakt desselben versetzte Fibrinflocke sind gegen die proteolytischen Fermente geschützt.

Ich berichte weiter über die Resultate, die ich mit den Extrakten erhielt.

Bei Trypsinversuchen betrug die Dauer des Schutzes bis zu 14 Tagen und mehr, bei Pankreasextraktmengen von 1 bis 3 cg und Ascarisextraktmengen von 5—15 ccm. Verdünnung des Extraktes auf die Hälfte und mehr hob die Schutzwirkung nicht auf.

Bei Pepsinversuchen währte der Fibrinschutz ebenfalls bis zu 12 auch 14 Tagen, bis die Hauptmenge der Fibrinflocken gelöst war; bis zur Lösung der letzten Fibrinflocken verging eventuell noch mehr Zeit, oder sie kam auch gar nicht zu stande; auch hier hob Verdünnung die Schutzwirkung nicht auf.

Was die Wirksamkeit betrifft, so fand ich die zweiten Extrakte, die nach Zusatz von etwas Kochsalzlösung und Dinatriumphosphat[1]) zu dem einmal ausgepreſsten Brei gewonnen waren, wirksamer als die ersten, sowohl bei den Trypsinals bei den Pepsinversuchen.

Ferner war es von Wichtigkeit, daſs die Tiere gründlich zerrieben wurden, ungenügendes Zerreiben führte zu nur wenig wirksamen Extrakten. Endlich verkürzte sich bei Vermehrung der Fermentmengen die Dauer des Fibrinschutzes[2]), während sie umgekehrt bei Vermehrung der zugesetzten Extraktmenge sich verlängerte.

Der Fibrinschutz war nach dem ausgeführten kein unbegrenzter, weder zeitlich, noch in Bezug auf eine bestimmte

---

1) Zusatz von Na_2HPO_4 in halbgesättigter Lösung hatte auf die Trypsinwirkung, wie ein Versuch lehrte, keine zu bemerkende störende Wirkung.

2) Die oben mitgeteilte Beobachtung an Cysticercus, nach welcher von diesem Tier im Magen nur die Blase, nicht aber der Kopf verdaut wird, reduziert sich damit auf eine Frage nach der Stärke des im Kopf bezw. der Schwanzblase bestehenden Fibrinschutzes. (Unten wird sich zeigen, daſs diese Erscheinung sich damit auf die Menge des vorhandenen Antifermentes zurückführen läſst.)

Menge Extrakts, doch blieben hie und da einzelne Fibrinflocken ungelöst.

Die Extrakte besitzen eine grofse Haltbarkeit. Mit Fluornatrium (1—2 %) versetzt, waren dieselben nach sieben bis acht Monate langer Aufbewahrung im Zimmer (am Tageslicht) noch ebenso wirksam wie gut bereitete frische Extrakte. Längere Zeit habe ich keine Extrakte aufbewahrt. Es ist anzunehmen, dafs die Säfte noch bedeutend länger ihre schützende Eigenschaft bewahrt hätten.

Für gewöhnlich befinden sich die Ascariden in einem Medium von 37° - 40° C.; es war deshalb anzunehmen, dafs bei dieser Temperatur (wie auch die schon mitgeteilten Versuche bestätigten) das Schutzvermögen kräftig zur Wirkung komme; es fragte sich, wie weit es gegen Temperaturerhöhung empfindlich war.

Zunächst zeigte sich, dafs kurzes Aufkochen (5 ccm Saft 1½ Minuten lang), wobei der Saft koagulierte, die Schutzwirkung völlig aufhob[1]). Einige weitere Versuche ergaben, dafs 10 Minuten langes Erwärmen auf 60° (10 ccm Saft) zwar eine Trübung und flockige Koagulation bewirkt, aber keine Beeinträchtigung der Schutzwirkung (Hauptmenge nach sechs Tagen gelöst); 10 Minuten langes Erhitzen auf 80° (10 ccm desselben Saftes) bewirkte eine viel reichlichere Koagulation, das Fibrin war nach zwei Tagen in der Hauptsache gelöst, es war also der Schutzstoff sehr stark geschädigt worden. Wurde endlich eine Probe (10 ccm desselben Saftes) 10 Minuten auf 95° erhitzt, so war der Fermentschutz völlig aufgehoben, das Trypsin kam innerhalb weniger Stunden zur lösenden Wirkung auf das Fibrin.

Aus diesen Versuchen zeigt sich eine relativ grofse Resistenz des Schutzvermögens gegen Temperaturerhöhung, eine Thatsache,

1) Die Annahme, dafs es sich bei den beobachteten Versuchen nur um die Wirkung gewisser beigemengter Salze handelt, wird hierdurch widerlegt; dafs aber die Beiwirkung anorganischer Verbindungen, wie bei vielen Fermentwirkungen (z. B. Salzsäure bei Pepsin, Mangansalze bei Laccase), so auch hier nötig sei, ist zunächst nicht unmöglich, wenn auch bis jetzt kein Anhaltspunkt in dieser Richtung vorliegt.

welche mit der grofsen Haltbarkeit desselben in Lösung übereinstimmt.

Diese Befunde legen die Vermutung nahe, dafs es sich bei der schützenden Wirkung der Extrakte um die Thätigkeit von Stoffen handle, welche, in dem Extrakt gelöst, die Fermente in ihrer Wirkung mehr oder minder zu hemmen befähigt sind, also von »Antifermenten«.

Ich versuchte weiter, ob es möglich ist, die hier als wirksam angenommenen Stoffe aus den Extrakten, in welchen sie mit sehr vielen anderen Stoffen vermischt sind, mehr oder minder gereinigt zu erhalten.

Zunächst bildet sich in den Säften, wenn sie, besonders in der Wärme, stehen, ein beträchtlicher Niederschlag (R I), wie ich schon in meiner früheren Mitteilung bemerkt habe. Filtrierte ich von diesem ab, so erhielt ich ein klares Filtrat (F I), das an Wirksamkeit nichts eingebüfst hatte. Mit diesem Filtrat sind gröfstenteils die Versuche, auf Grund deren die obigen Angaben gemacht sind, angestellt worden. In diesem Filtrat sind die wirksamen Substanzen enthalten, der Rückstand, wenn er gut ausgewaschen ist, enthält nichts oder fast nichts von den fermenthemmenden Eigenschaften.[1])

Dieses Filtrat fällte ich mit Alkohol, so dafs auf ein Volumen Filtrat $1^1/_2$ — 2 Volumina Alkohol von 96 $^0/_0$ gesetzt wurden. Es kam zur Bildung eines reichlichen Niederschlages (R II), der mit absolutem Alkohol und Äther gewaschen und über Schwefelsäure getrocknet wurde; derselbe bildete weifse brocklige Krusten und Lamellen.

Versuche mit diesem Niederschlag (R II), der sich nur schlecht und unvollständig in Wasser löste, ergaben meist (in fünf von sechs Versuchen) ein durchaus negatives Resultat, ein positives Ergebnis erhielt ich in einem Fall, bei welchem in dem unveränderten Saft sogleich mit zwei Volumina Alkohol gefällt wurde. Vermutlich wurde durch den sehr reichlichen Niederschlag ein Teil der wirksamen Substanz festgehalten.

---

1) Auch ein tryptisches Ferment suchte ich in demselben vergeblich.

Das Filtrat dieses zweiten Niederschlages (F II) hatte eine Konzentration von etwa 60% Alkohol, war völlig klar, etwas gelblich; in demselben erhielt ich durch weiteren Zusatz von Alkohol (2 Volumina) nochmals eine mäſsige Trübung, die sich allmählich am Boden absetzte; gewöhnlich nach 24 Stunden war die über dem weiſsen Niederschlag stehende Flüssigkeit wieder völlig klar; ich filtrierte den Niederschlag ab und wusch ihn mit Alkohol von 96% und 100%, darauf mit Äther, schlieſslich trocknete ich ihn über Schwefelsäure.

Ich erhielt ein weiſses mehliges, hie und da etwas klebendes Pulver (R III), das sich leicht in Wasser löste, dabei etwas Schaum bildete, die Lösung gab die Biuretprobe, auch Trommers Probe, letztere ohne Zweifel von ausgefällter Dextrose.

Die Menge, in der ich das Pulver erhielt, betrug z. B. aus 27,5 ccm Saft 0,17 g (Saft XVII), aus 50 ccm Saft 0,69 g (Saft XXI).

Die Versuche mit diesem Pulver ergaben ein positives Resultat; immerhin war die Wirksamkeit der Substanz durch diese Manipulationen wesentlich herabgesetzt. Bei Zusatz der im ersten Beispiel erwähnten 17 cg zu 0,03 g Trypsin war das Fibrin nach zwei Tagen in der Hauptsache gelöst, der dritte Teil der im zweiten Beispiel angegebenen Menge, 0,23 g (gleich etwa 16 ccm Saft), hatte bei Zusatz von 0,03 g Trypsin eine hemmende Wirkung von 7 bezw. 9 Tagen. Dies bedeutet gegenüber der Wirksamkeit desselben Saftes vor der Alkoholfällung eine Herabsetzung auf weniger als die Hälfte.

Eine gleiche Partie dieses Rückstandes (0,23 g) wurde über sieben Wochen gelöst unter Toluol aufbewahrt; diese Lösung war zwar noch wirksam, aber bedeutend weniger als anfangs. Bei Zusatz von 0,03 g Trypsin hielt die hemmende Wirkung nur drei Tage an, bis die Hauptmenge des Fibrins gelöst war.

In einem weiteren Versuche ergaben 0,05 g R III mit 0,01 g Trypsin ein deutlich positives Ergebnis (zwei Tage Hemmung), während 0,04 g R III zu 0,02 g Trypsin gesetzt ein zweifelhaftes Ergebnis lieferten.

Dieses Ergebnis steht mit dem oben angeführten in einer gewissen Übereinstimmung: Um eine ausgesprochene hemmende Wirkung der Substanz, in diesem Falle der antitryptischen Substanz, zu erhalten, bedarf es 0,05 bis 0,07 g derselben auf jedes Centigramm des von mir verwendeten Pankreaspulvers, d. h. etwa das fünf- bis siebenfache.

Was die Haltbarkeit des Pulvers angeht, so fand ich dasselbe nach etwas über drei Wochen noch nicht nachweisbar in seiner Wirksamkeit geschwächt.

Zwei Versuche, in welchen ich das Fibrin drei Stunden vor dem Trypsin zu der Lösung der hemmenden Substanz brachte, verhielten sich nicht anders als die übrigen Versuche, in welchen ich beide Substanzen, ohne weitere Zeit vergehen zu lassen, zusammen brachte.

Aufser der Fähigkeit, die Trypsinwirkung zu hemmen, besitzt dieser Niederschlag — ebenso wie der ausgeprefste Saft — auch das Vermögen, in salzsaurer Lösung Pepsin in seiner Wirkung zu hemmen.

23 cg des oben erwähnten zweiten Beispiels waren imstande, bei 3 cg Pepsin (pur. absol. Merck) die Lösung der Hauptmenge des Fibrins 13 Tage aufzuhalten.

Das alkoholische Filtrat, welches ich beim Abfiltrieren von dem wirksamen Niederschlag (R III) erhielt, (F III) habe ich in zwei Versuchen bei 40° eingeengt, der erhaltene Syrup (der keine Biuretreaktion, wohl aber Trommers Probe kräftig gab) wurde in wenig Wasser gelöst und mit Trypsin (in alkalischer Lösung) und Fibrin bei 37° zusammen gebracht. In beiden Fällen war keine Spur einer hemmenden Wirkung zu beobachten; es folgt daraus, dafs die wirksame Substanz zwar in Alkohol von etwa 60% noch löslich ist, in solchem von 85 und in mehr Prozent aber nicht mehr.

Die Versuche haben gezeigt, dafs es sich bei der antifermentativen Wirkung des Ascarisextrakts um die Wirkung einer Substanz handle, die aus demselben durch Alkoholfällung zu gewinnen ist.

Es entsteht nach den obigen Angaben die Frage, ob es sich bei der antitryptischen und antipeptischen Wirkung um die Thätigkeit desselben Stoffes handelt oder ob zweierlei verschiedene Stoffe diese beiden Funktionen ausüben, also ob ein Antitrypsin neben einem Antipepsin in der erhaltenen Substanz enthalten sei.

Einen Fingerzeig gibt hier vielleicht eine Beobachtung, die ich einmal in sehr ausgeprägter Weise machte. In einem Safte, bei welchem die Ascariden nur schlecht und kurze Zeit zerrieben waren, erhielt ich mit dem zweiten Extrakt die antitryptische Wirkung nur sehr schwach (deutliche Wirkung ein Tag), dagegen die antipeptische stark (deutliche Wirkung neun Tage); und man möchte deshalb vermuten, dafs es sich um zweierlei Substanzen handelt, doch kann diese Verschiedenheit auch durch eine gröfsere Wirksamkeit des antiproteolytischen Ferments auf Pepsin erklärt werden, denn bei den meisten anderen Versuchen war das Verhältnis ein ähnliches, nur quantitativ bedeutend weniger ausgeprägt; ich mufs deshalb die Frage, ob es sich um zwei verschiedene Antifermente, ein Antitrypsin und ein Antipepsin, handelt oder einfach um ein antiproteolytisches Enzym, offen lassen; immerhin spricht auch der oben mitgeteilte Befund mit dem Brei von Taenia, von welchem ich nur antipeptische Wirkung erhielt, eher für das Vorhandensein von zweierlei Antifermenten, von welchen bei jenem Versuch nur das antipeptische erhalten wurde. Dafs bei den Tänien ein antitryptisches Ferment ebenfalls vorhanden sein mufs, ist ohne weiteres zu fordern und hat sich mir auch später ergeben.[1])

Weiter habe ich versucht, über die Art und Weise der Wirksamkeit der Antifermente neben den Fermenten etwas zu erfahren. Es war einmal möglich, dafs dieselben das Ferment zerstörten, sodann dafs sie durch das Ferment zerstört

---

1) Aufser den Versuchen an Ascaris habe ich, wie erwähnt, noch solche an Taenia angestellt, das Material war aber hierbei sehr spärlich, so dafs ich nicht über einige orientierende Versuche hinaus gekommen bin; neben einem antipeptischen Ferment gelang es mir auch antitryptisches Ferment nachzuweisen, und zwar in Taenia expansa des Lammes.

wurden, endlich daſs beide Stoffe nebeneinander längere oder kürzere Zeit bestehen können, oder daſs sie sich gegenseitig vernichten.

Ich versuchte, um dies zu prüfen, Antiferment und Ferment, nachdem das Fibrin durch dieses zur Lösung gekommen war, wieder zu trennen; Trypsin ist in 40% Alkohol nach Dastre[1]) löslich, fällt aber in höher konzentriertem Alkohol aus, besonders wird es bekanntlich durch ausfallende Niederschläge leicht mitgerissen, während das Antiferment, wie meine Befunde zeigten, erst in bedeutend höher konzentriertem Alkohol ausfällt und auch durch ausfallende Niederschläge nicht leicht mitgerissen wird.

Einmal habe ich in zwei Versuchen, die mit dem wirksamen Niederschlag (R III) angestellt waren, nach der Lösung des Fibrins (sechs Tage nach dem Zusammenbringen von Ferment und Antiferment) mit zwei Volumina Alkohol von 96% ausgefällt; der Niederschlag (mit Alkohol von 96% und 100%, darauf mit Äther gewaschen und über Schwefelsäure getrocknet) ergab in Wasser gelöst und mit Fibrin versetzt ohne weiteren Trypsinzusatz Lösung des Fibrins in wenigen Stunden, während dasselbe Trypsin vorher — bei Gegenwart des Antiferments — mehrerer Tage zur Lösung des Fibrins bedurft hatte, und obgleich nunmehr reichlich Spaltungsprodukte des das erste Mal zugesetzten Fibrins mit in der Lösung vorhanden waren.

Der bei diesen Versuchen mit stärkerem Alkohol erhaltene zweite Niederschlag, der das Antiferment enthalten soll, ergab (mit Alkohol von 96% und 100% und mit Äther gewaschen) nach der Lösung bei einem Zusatz von 0,03 g Trypsin beträchtlich längere Zeit doch nicht ganz einen Tag bis Lösung der Hauptmasse eingetreten war. Daſs die Wirkung des Antiferments sehr vermindert sein würde, war nach den oben angegebenen Versuchen über die Wirksamkeit des ausgefällten Präparates zu erwarten; immerhin war dieselbe noch zu erkennen.

---

1) Dastre, Arch. de Physiol. 1896, No. 120.

Anders als in diesen Versuchen, in welchen Ferment und Antiferment nur wenige Tage beisammen gewesen waren, war die Sachlage in dem Versuche, in welchem Ferment und Antiferment längere Zeit, etwa drei Monate, bei 37° beisammen gewesen waren; hier war mit dem ersten Rückstand nach zwei Tagen noch keine Lösung neuen Fibrins zu beobachten[1]), nur in einem von drei Versuchen war ein schwacher Beginn von Lösung des Fibrins zu sehen; anderseits war auch in dem zweiten Rückstand bei Zusatz von Trypsin (0,01 bis 0,02 g) keine deutliche Verlangsamung der Verflüssigung zu bemerken.

Diese Versuche zeigen, daſs eine Zeit lang Ferment und Antiferment nebeneinander in einer Lösung enthalten sein können, daſs dabei das Ferment durch das Antiferment nicht zerstört, wohl aber in seiner Wirkung gehemmt wird. Wenn aber die beiden Stoffe längere Zeit, Monate lang, zusammen gewesen sind, so ist es mir nicht mehr gelungen, einen von beiden in der Lösung nachzuweisen.

Was endlich die Art, wie der Stoff im Tier enthalten ist, betrifft, so ist wohl anzunehmen, daſs derselbe sehr fest (also vermutlich an den Zellen) haftet, da er sonst wohl in gröſserer Menge in den ersten Extrakt überginge als in den zweiten Extrakt, in welchem ich ihn, wie oben erwähnt, stets in reichlicherer Menge enthalten fand; damit will ich jedoch nicht sagen, daſs das Antiferment etwa mit dem Eiweiſs in einer chemischen Verbindung sich befinde, denn in diesem Falle wäre es schwer verständlich, daſs es überhaupt aus dem Ascarisbrei ausspreſsbar ist.

Nach den mitgeteilten Versuchen ist es nicht zu bezweifeln, daſs für die parasitisch lebenden Würmer (im Magen, Darm, Peritonealgewebe, Leber u. s. w.) der Schutz gegen die proteolytischen Fermente, welche in diesen Organen abgeschieden werden, oder in den Säften enthalten sind, durch

1) Trypsin, welches in einem Versuch sieben Wochen weniger zwei Tage mit Rindsfibrin bei 37° digeriert war, war nach Ausfällung mit Alkohol und darauf folgendem Lösen des Niederschlages in Wasser imstande, neu zugesetztes Schweinefibrin in wenigen Stunden zu lösen.

spezifische Stoffe, Antifermente[1]), bewirkt wird, entweder durch einen sowohl Pepsin wie Trypsin hemmenden Stoff, oder durch ein Antipepsin und ein Antitrypsin.

Diese Stoffe können aus dem ausgepreſsten Saft durch Alkohol ausgefällt werden, ohne ihre Wirksamkeit völlig zu verlieren; man kann mit denselben Fibrin imprägnieren, welches sich alsdann — ebenso wie »lebendes« Gewebe — gegen die Einwirkung der proteolytischen Fermente kürzere oder längere Zeit unangreifbar erweist.

Ob und in wie weit sich diese Befunde auf die höheren Tiere übertragen lassen, bin ich zur Zeit zu untersuchen beschäftigt.

---

1) Ich bemerke hier, daſs ich beim Studium der einschlägigen Litteratur einer Untersuchung von J. Frenzel: »Die Verdauung lebenden Gewebes und die Darmparasiten« (du Bois Archiv 1891 S. 293) begegnet bin, in welcher derselbe die Vermutung ausspricht, es könne sich bei dem Schutz der Darmparasiten gegen die Fermente um Antifermente handeln.

Weitere Untersuchungen über die Wirkung fluorescierender Stoffe.

Von

Dr. **Oskar Raab.**

(Aus dem pharmakologischen Institute der Universität München.)

Die in Bd. 39, Heft 4 der Zeitschrift für Biologie veröffentlichten Untersuchungen über die Giftigkeit verschiedener chemischer Körper für Paramäcien hatten damals zu folgenden Ergebnissen geführt:

I. Die Einwirkung des Tageslichtes hat bei den Versuchen mit Akridin-Phosphin- und Eosinlösungen einen grofsen schädlichen Einflufs.

II. Dieser Einflufs beruht auf der Erzeugung der Fluorescenz.

III. Diejenigen Strahlen wirken, welche die Fluorescenz am stärksten erregen.

IV. Es ist wahrscheinlich, dafs fluorescierende Körper die Energie der Lichtstrahlen in lebende chemische Energie umzusetzen vermögen.

V. Es ist wahrscheinlich, dafs die Fluorescenz auch im tierischen Organismus eine Rolle spielt, jedoch nur in viel geringerer Stärke.

Da mit diesen Ergebnissen jedoch die Frage der Fluorescenzwirkung noch lange nicht gelöst war, wurden weitere Untersuchungen in dieser Richtung im pharmakologischen Institute

zu München unter Leitung von Herrn Prof. v. Tappeiner angestellt. Ein Teil derselben, welchen Dr. Jakobson ausgeführt hat, und der sich vor allem mit der Wirkung fluorescierender Stoffe auf Flimmerepithel beschäftigt, ist von demselben bereits veröffentlicht [1]). Diese Untersuchungen fallen zeitlich zwischen die von mir neuerdings angestellten Versuche hinein und haben erfreulicherweise eine vollkommene Bestätigung der seinerzeit mitgeteilten Resultate geliefert. Da dies aber bei Beginn der nachfolgend mitgeteilten Versuche, deren Veröffentlichung meine längere Abwesenheit sehr verzögerte, natürlich noch nicht mit Sicherheit vorauszusehen war, so begann ich damals damit, die gelegentlich der ersten Untersuchungen erhaltenen Resultate nachzuprüfen. Zu diesem Zwecke wurden neuerdings Paramäcien den Wirkungen verschiedener Körper ausgesetzt, von denen die eine Hälfte fluorescierte, die andere nicht fluorescierte, sondern nur stark absorbierte. Wie früher, wurde auch diesmal hauptsächlich der feuchte Kammerversuch zur Untersuchung gewählt. Bei dieser Gelegenheit ergab sich zunächst, dafs die Paramäcien in gewissen Stadien gegen mechanische Insulte ganz besonders empfindlich sind. Auch die sorgfältigste Entnahme mittels der Pipette aus der Kultur und die sorgfältigste Beimischung des Gifttropfens brachte ihnen an solchen Tagen den unmittelbaren Tod. Am schonendsten schien es dann noch zu sein, wenn man den Paramäcientropfen dem Gifttropfen zusetzte, nicht umgekehrt den Gifttropfen dem Paramäcientropfen. Im folgenden sollen nun die Resultate, welche mit den einzelnen Lösungen erzielt wurden, angegeben werden.

Die erste Gruppe war also die der fluorescierenden Lösungen und zwar wurden neu untersucht Chinolinrot und Harmalin und nachgeprüft das Eosin. Bezüglich der chemischen Konstitution dieser Körper ist das nötige bereits in der Abhandlung von Jakobson erwähnt, so dafs sofort in die mit ihnen erhaltenen Resultate eingegangen werden kann.

1) Diese Zeitschrift 1901.

Chinolinrot.

1 : 1000 absorbiert in einer Schichtdicke von 1 cm bei hellem Tageslichte die Strahlen vom ultravioletten Ende exklusive bis zum Rot exklusive. Es tötet im Lichte die Paramäcien in Lösung 1 : 20000 in einer guten halben Stunde, in Lösung 1 : 40000 und 1 : 50000 noch in einigen Stunden; im Gegensatz dazu läfst bei Ausschlufs des Lichtes schon Lösung 1:20000 noch nach Stunden in der feuchten Kammer massenhaft lebende Paramäcien erkennen, ja, in einem Falle gelang es sogar, die Paramäcien trotz des Zusatzes dieser Lösung volle vier Tage lang im dunkeln am Leben zu erhalten und dann in vier Stunden hinter etwas trübem Kupfersulfat (10 ccm dicke Schicht) durch die Zuhilfenahme der Lichtstrahlen abzutöten (November 1899).

Als zweiter fluorescierender Körper wurde untersucht

Das salzsaure Harmalin.

Dieser Körper absorbiert in Lösung 1:10000 bei 1 cm Schichtdicke keine sichtbaren Strahlen mehr. Lösung 1 : 1000 tötet die Paramäcien sofort, Lösung 1 : 20000 in 8—20 Minuten Bei derartig starken Giftwirkungen kommt eine Lichtwirkung nicht in Betracht. Verdünnt man aber weiter auf 1:40000, so beginnt sich ein kleiner Unterschied zu zeigen. (Zu dem gleichen Resultate gelangt Jakobson für das Flimmerpithel.) Im Lichte starben die Paramäcien dann in 20 und 35 Minuten, im dunkeln erst in 48 Minuten. Lösung 1:60000 vollends tötete im Lichte in kaum einer Stunde, im dunkeln erst nach mehreren Stunden, Lösung 1 : 100000 und 1 : 150000 verhielten sich ebenso. Auch bei Harmalin gelang es, bei Zusatz einer Lösung 1 : 200000 im dunkeln Paramäcien 20 Stunden lang völlig gesund zu erhalten und dann unter Zuhilfenahme des Lichtes in 1—3 Stunden zu töten (Oktober 1899).

Als dritter Körper wurde nochmals das Eosin untersucht.

Eosin.

1 : 1000 tötete die Paramäcien im Lichte noch vor Ablauf einer halben Stunde, im dunkeln lebten die Tiere auch nach mehreren Tagen noch. 1 : 10000 tötete im Lichte in 1—2½

Stunden, im dunkeln verhielt es sich wie 1 : 1000. 1 : 30000 tötete im Lichte vor vier Stunden, im dunkeln wie 1:1000. Auch bei Anwendung von Eosin 1 : 1000 gelang es, an den einen Tag im dunkeln gehaltenen Tierchen mit folgender Zuhilfenahme des Lichtes in weniger als einer halben Stunde Abtötung zu erzielen.

Ein weiterer Versuch wurde mit Eosin in der Weise gemacht, daſs 0,4 ccm Paramäcienkultur und 0,4 ccm Eosinlösung 1:20000 in einem dünnen Röhrchen gemischt wurden. Das Röhrchen wurde im dunkeln gehalten und zeigte nach 24 Stunden noch keine Schädigung der Paramäcien. Jetzt wurde es belichtet und in 25 Minuten waren die Paramäcien tot (Oktober 1899). Ein weiterer Versuch wurde in der Weise gemacht, daſs ein solches Röhrchen bloſs mit Paramäcienkultur gefüllt und am Rande einer fluorescierenden Eosinlösung den Fluorescenzstrahlen ausgesetzt wurde, ohne daſs die Paramäcien geschädigt wurden, um wiederholt festzustellen, daſs nicht das Fluorescenzlicht als solches die schädliche Wirkung hervorbringt, sondern die Erzeugung der Fluorescenz (Okt. 1899).

Im Gegensatz zu diesen Resultaten stehen die Ergebnisse, welche die Gruppe der nicht fluorescierenden, sondern bloſs absorbierenden Lösungen lieferte. Unter diesen wurde zuerst das Krystallviolett untersucht. Dieser Körper absorbiert in Lösung 1 : 25000 das Ende der roten, die orangen und gelben Strahlen. Es ergab sich mit demselben folgendes:

Lösung 1 : 1000 tötete fast sofort,
» 1 : 10000 » ungefähr in einer halben Stunde,
» 1 : 25000 » » » » Stunde,
» 1 : 50000 » auch bei Einwirkungsdauer von 24 Stunden meist nicht mehr; keine dieser Konzentrationen ergab einen Einfluſs des Lichtes auf den Versuch (Oktober 1899).

Ebenso verhielt es sich mit Fuchsin.

Dasselbe absorbierte in Lösung 1 : 20000 bei einer Schichtdicke von 1 cm die Strahlen von rot exkl. bis violett exkl. und beschattete noch violett.

Lösung 1 : 10000 tötete rasch,

» 1 : 20000 » nach drei Stunden bis zu zwei Tagen; indessen ergab auch bei Fuchsin keine dieser Konzentrationen eine Lichtwirkung (Oktober 1899).

Die Resultate dieser Untersuchungen decken sich also mit den früheren vollkommen.

Gelegentlich dieser Untersuchungen fand sich nun eine weitere fundamentale Thatsache.

Bei Besprechung der näheren Vorgänge, welche der Fluorescenzwirkung zu Grunde liegen könnten, hatten wir nämlich bereits auf Grund der allgemeinen Wirkungen der Lichtstrahlen die Vermutung ausgesprochen[1]), daſs nicht jede Fluorescenzerzeugung ein schädliches Resultat haben dürfte. Diese Vermutung gewann sehr an Wahrscheinlichkeit durch eine Parallele, welche sich zwischen der Wirkungsweise fluorescierender Körper auf Paramäcien und der Rolle des Chlorophylls im pflanzlichen Organismus ziehen lieſs. Diese Parallele gipfelte dann in der Annahme, daſs, ganz wie man von dem Chlorophyll festgestellt hat, dasselbe die physikalische Energie der Lichtstrahlen in chemische Energie überträgt, überhaupt fluorescierende Körper die Energie der Lichtstrahlen in lebende chemische Energie übertragen, aber immer wohl nur in chemische Energie der Art, wie sie ihrer ursprünglichen Konstitution entspricht.

Auf Veranlassung von Herrn Prof. Dr. von Tappeiner habe ich nun einen weiteren fluorescierenden Körper untersucht und zwar das Äsculin in Konzentration 1 : 1000. Da auch im Lichte bei dieser Konzentration keine Schädigung der Paramäcien eintrat, durfte das Äsculin den Paramäcien überhaupt nicht schädlich sein, sollte anders die oben erwähnte Annahme nicht falsch sein. Es waren denn auch Paramäcien in konzentrierter Äsculinlösung trotz Sonnenbeleuchtung hinter Kupfersulfat nach fünf Tagen noch völlig gesund. Dieses Resultat, das nach Jakobson auch für das Flimmerepithel gilt, beweist in der That, daſs die Fluorescenzerregung an und für sich nicht das schädliche Agens ist.

1) Diese Zeitschrift Bd. 39 S. 541.

Dagegen blieb der Versuch, experimentell zu prüfen, ob fluorescierende Körper physikalische Energie in chemische Energie verwandeln können, völlig resultatlos. Derselbe basierte nämlich darauf, an der Raschheit, mit der ein Stückchen Aluminium von einer fluorescierenden Lösung zersetzt würde, zu messen, ob ein und dieselbe Lösung belichtet stärker wirkt als im dunkeln und scheiterte schon von vornherein daran, dafs keine fluorescierende Säure sich finden liefs, welche Metall zersetzt hätte, während Beigaben fluorescierender Lösungen zu Salzsäure ein negatives Resultat ergaben.

Man hätte nun daran denken können, einen elektrischen Strom durch eine fluorescierende Flüssigkeit zu schicken und dann sowohl im dunkeln wie im hellen den Widerstand zu berechnen, den die fluorescierende Flüssigkeit entgegensetzt. Allein auch so läfst sich die Frage nicht lösen und zwar deshalb, weil eine ganze Reihe von Lichteinflüssen auf elektrische Energie bekannt sind.

Bei dem Interesse, das sich gegenwärtig in der Medizin allen Lichtwirkungen gegenüber zeigt, sind dieselben einer fragmentarischen Erwähnung vielleicht wert. Dieselben sind nach Winkelmann[1]) folgende:

I. Beeinflussung der Funkenbildung und zwar hervorgerufen durch ultraviolettes Licht. Es ändert sich auch der Charakter der Entladung. Unter den Metallen sind am wirksamsten eine Kathode aus Platin, Belichtung der Anode ist wirkungslos. Meist wirkt das Licht fördernd auf die Funkenbildung, zuweilen aber auch hemmend.

II. Zeigt sich eine Wirkung auf das Leitungsvermögen verdünnter Luft.

III. Findet eine Zerstreuung negativer Ladungen durch das Licht statt, z. B. bei einer Zinkplatte. Gewisse negativ elektrisierte Flüssigkeiten sind ebenfalls empfindlich gegen hoch brechbare Strahlen, besonders Fuchsin, Cyanin, Jodgrün (intensiv); geringer salpetersaures Kalium, Eosin, Hämatoxylin, Anilin. Unwirksam: Wasser, Aceton, Amylacetat, wäfsrige Lösungen von Chromsäure, Lackmus, Salpeter, Bromkalium. Nur Körper, welche ultraviolettes Licht absorbieren, werden bei negativer Ladung vom Lichte beeinflufst, aber nicht jeder Körper, der ultraviolette Strahlen beeinflufst, ist lichtempfindlich. Auf besonders lichtempfindlichen Substanzen werden negative Ladungen sogar durch das Licht zerstreut. Dahin gehören Zink, amalgamiertes Messing und schwache Amalgame von Natrium und Kalium. Unter den nichtmetallischen Körpern hat die Balmainsche Leuchtfarbe allein die Eigenschaft, negative Elektricität bei Bestrahlung mit Sonnenlichte zu verlieren.

---

1) Handbuch der Physik.

IV. Kommt vor eine Zerstreuung positiver Ladungen durch das Licht.
V. Findet statt eine Erzeugung positiver Elektricität durch das Licht z. B. auf Zink und Aluminium.
VI. Entsteht ein aktinoelektrischer Strom (auf III. beruhend).

Daraus folgt für unseren Versuch, dafs Metalle und Flüssigkeiten durch Licht beeinflufst werden, so dafs also auch bei positivem Resultate erst nachgewiesen werden müfste, dafs der Grund desselben nicht auf einer dieser Erscheinungen beruht.

Bezüglich der damals theoretisch erörterten Frage, ob die Fluorescenz auch im tierischen Körper eine Rolle spielt, wären zunächst zu erwähnen die Wirkungen fluorescierender Lösungen auf Frösche bei Lichtzutritt. Dieselben sind meist von Jakobson bereits mitgeteilt.

Meine Versuche beschränken sich auf Warmblüter. Es wurden etwa 100 Mäuse, einige Meerschweinchen, Tauben und zwei Hähne subcutan injiciert.

Vorbedingung dieser Versuche ist, nur für das Versuchstier giftige Lösungen zu injicieren, da es sich ja blofs um eine Steigerung der ursprünglichen Wirkung bei der Fluorescenzwirkung handelt (Äsculin). In zweiter Linie soll man Mäusen nie mehr als 1/2 ccm Lösung injicieren, ein im Verhältnis zu dem Gewichte einer Maus schon nicht unbedeutende Menge. Enthaarung mit Schwefelcalcium, die gut vertragen wird, ist nicht nötig.

Eine wichtige Bedingung liefs leider erst gegen Ende der Versuche, die damals (Juli 1901) herrschende grofse Hitze mit Sicherheit erkennen. Während nämlich früher die Kontrollmäuse, welche nicht injiciert waren, auch durch Sonne nicht geschädigt wurden, gingen sie im Juli 1901 zu grunde. Es müssen also bei den Versuchen die Wärmestrahlen gut ausgeschaltet werden, z. B. mit Kupfersulfat (10 ccm dicke Schicht, planparallele Platten). Da dies im Anfang nicht geschah, so dürfen leider alle Versuche, bei denen injicierte Mäuse unter Sonnenbeleuchtung zu grunde gingen, nicht verwendet werden.

Es wurden nun mit Mäusen folgende Resultate erzielt:

I. Gruppe fluorescierender Körper:

Eosin 4 : 100.

Von dieser Lösung tötete
1,2—1,1 ccm pro Maus das Tier in einigen Stunden (2—3),
0,5 ccm tötete die Maus meist,
0,4 ccm vermag die Maus noch zu töten,
0,3 ccm tötete dreimal die Mäuse nicht mehr,

0,2 ccm tötete meist nicht mehr, dagegen erlitten alle zwei Tiere, die mit 0,2 ccm Eosin 4 : 100 injiciert und dann intensiv belichtet worden waren, Nekrosen der Ohren. Das Gleiche fand bei vier Mäusen statt, denen 0,1 ccm injiciert worden waren, worauf sie ebenfalls belichtet wurden. Diese Versuche, die im Januar, Februar und März 1899 angestellt wurden, wurden im November 1900 nachgeprüft. Diesmal wurde verwendet:

Eosin 1 : 100.

Damit wurden vier Mäusen je 0,4 ccm injiciert, ebenso zwei Mäusen je 0,6 ccm und die Tiere sämtlich dem Sonnenlichte ausgesetzt. Wiederum zeigten alle Versuchstiere nach 1—2 Tagen beginnende Ohrnekrosen, worüber später eingehend berichtet werden wird.

Als zweiter Körper wurde untersucht das Chininum sulf. 1 : 500. Injektionen von 1,0 ccm, ja sogar von 3,0 ccm schädigten die Mäuse nicht, so dafs also das Chinin, weil zu wenig giftig, für diese Untersuchungen nicht geeignet ist. (Juni 1900.)

Dasselbe Resultat ergab salzs. Monomethylphosphin 1 : 1000. Es wurden drei Mäuse injiciert, eine erhielt 2,0 ccm, zwei erhielten je 1,0 ccm injiciert; nur eine Maus starb. Ebenso schädigten Injektionen von 1,0 ccm Monomethylphosphin 4 : 1000 die Mäuse nicht und bewirkten auch trotz Belichtung keine Ohrnekrose. Die Tiere wurden sechs Tage beobachtet (Juni 1901).

Der vierte untersuchte Körper war das Chinolinrot. Auch dieses war zu wenig giftig.

Chinolinrot 1 :1000 tötete nämlich bei Injektion von
1,2—0,3 ccm die Mäuse erst in einigen Stunden,
0,1 ccm tötete nicht mehr mit Sicherheit,
0,05 ccm tötete nicht mehr. Es ergaben sich auch hier keine Ohrnekrosen der belichteten Tiere. (Januar, Februar, März 1899.)

Als fünfter Körper wurde das salzsaure Harmalin untersucht. Dieser Körper erwies sich, wie Jakobson schon für Frösche gefunden hatte, auch für Mäuse als sehr giftig, entspricht also allen Bedingungen. Derselbe wirkte folgendermafsen:

3,0 ccm Harmalin 5:1000 töteten in ca. 70 Minuten,
1,0 » » 5:1000 » » » 3 Stunden,
0,5 » » 5:1000 » vor 24 Stunden, nach 6 Stunden,
0,25 » » 5:1000 » nicht mehr.

Die toxischen Erscheinungen bei Harmalininjektionen bestanden vor allem in auffallender Steifheit des Schwanzes, Zittern, schlagartigen Krämpfen, die hinteren Extremitäten wurden nachgeschleppt, das Herz schlug noch etwas weiter. Injiciert wurde hauptsächlich mit Lösung 1 : 400. Injektionsmengen von 0,5 ccm liefsen die Mäuse zweimal im Lichte, zehnmal im dunkeln am Leben bleiben. Auch hier zeigten sich keine Ohrnekrosen bei Belichtung. (Juni, Juli 1901.)

Die II. Gruppe der blofs absorbierenden Körper ergab folgende Resultate:

I. Fuchsin

in konzentrierter Lösung (1,0 : 100 soviel sich davon löst).

Dasselbe erwies sich zuerst als nicht ungiftig (Januar, Februar, März 1899) später November 1900 und Juli 1901 wurden aber Dosen von 0,3—1,0 ccm gut vertragen. Es ist also zu wenig giftig und daher zu diesen Untersuchungen nicht geeignet. Ebenso erwies sich

Dinitronaphtol

in kalt gesättigter Lösung (schwer löslich) auch wenn 1,0 ccm injiziert wurden, noch als ungiftig, auch

Cuprum aceticum

war nicht geeignet. Wohl aber ist zu verwenden das

Safranin.

Die toxischen Erscheinungen bei Safranininjektion bestehen in völliger Lähmung der hinteren Extremitäten, die lang nachgeschleppt werden. Das Herz schlägt nach dem Tode noch etwas fort.

Es tötete Safranin 1,0 : 100 bei Injektion von 1,0 ccm in ca. 5 Stunden, bei Injektion von 0,3 ccm vor 48 Stunden. Ohrnekrosen traten nicht auf.

Wohl hatten sich bei den sub I mitgeteilten Versuchen mit salzsaurem Harmalin, zum Teil auch mit Chinolinrot eine Reihe anscheinender und zwar nicht unbedeutender Steigerungen der Giftigkeit durch Lichtzutritt ergeben, leider hat es sich aber hier nur um Täuschungen gehandelt, hervorgerufen durch die Wirkungen der Wärmestrahlen.

Den klaren Beweis dessen lieferte unter dem Einflusse der Julihitze folgender Versuch:

Ein rechteckiges Glas von 22 cm Höhe und 10 cm Breite wurde mit konzentrierter Kupfersulfatlösung behufs Ausschaltung der Wärmestrahlen gefüllt. Unmittelbar dahinter wurde ein 4 cm breites und 17 cm hohes Drahtgeflecht, ebenfalls von rechteckiger Form, angebracht. Seine im Vergleich zu dem Kupfersulfatglas um 5 cm geringere Höhe wurde aus dem Grunde gewählt, damit nicht bei dem damaligen hohen Sonnenstande Strahlen in den Bereich des Drahtnetzes gelangen könnten, welche weniger als 10 ccm Kupfersulfatlösung passiert hätten. Oben wurde dann zum Überflufs das Drahtnetz durch schwarzes Papier abgeschlossen. In dieses Geflecht kamen dann die Mäuse, von denen zwei mit 0,2 ccm Safranin 1 : 300 (Gruppe II), drei mit 0,5 ccm Harmalin 1 : 400 injiciert waren (Gruppe I). Unter dem Einflufs des Sonnenlichtes gingen nun zu Grunde zwei Harmalin- und eine Safraninmaus. Es ist mir also nicht gelungen, gröfsere Fluorescenzwirkungen nachzuweisen.

Haben aber diese Versuche auch keine Fluorescenzwirkung ergeben, so haben sie doch immerhin eine merkwürdige Erscheinung finden lassen, die Nekrose, welche Licht an Mäuseohren verursacht, wenn den Tieren Eosin eingespritzt wird.

Dieser pathologische Vorgang trat stets (bei 10 Versuchstieren) auf, wenn man Mäusen 0,2 resp. 0,1 ccm Eosin 1 : 25 oder 0,6 resp. 0,4 ccm Eosin 1 : 100 injicierte und die Tiere kräftigem Sonnenlichte aussetzte. Sie begann nach 1—2 Tagen, deutlich erst nach 3 Tagen und dauerte etwa 3 Wochen. Das Tier war dann wieder gesund, hatte jedoch nur noch kleine Reste seiner Ohren übrig behalten. (Präparate in Kaiserling im pharmakologischen Institute zu München.) Das mikroskopische Bild der abgestofsenen nekrotischen Ohrpartien ergab keine Aufklärung der Erscheinung. Es zeigten sich keine Thromben oder ähnliches (zweiter Tag). Zwar fanden sich zahlreiche Leukocyten, allein diese waren auch an den Ohrpräparaten nicht injicierter aber belichteter Mäuse zu sehen. Makroskopisch zeigte sich im Laufe der Erkrankung eine deutliche Demarkationslinie des gesunden

gegen den nekrotischen Teil. Der periphere (nekrotische) Teil stiefs sich dann ab. Klinisch offenbarte das Verhalten der injicierten und dadurch sehr stark gefärbten Tiere, dafs sich dieselben im Sonnenlichte sehr wenig behaglich fühlen. Sie zeigen Unruhe und Aufregung und streben in den Schatten zu kommen. Vor allem aber putzen sie sich beständig an den dem Lichte ausgesetzten Hautpartien, insbesondere den Ohren. Aufserdem sind sie sehr erregbar, pressen sich gern an das kühle Glas und zucken oft kurz zusammen, während die mit Chinolinrot injicierten Mäuse mehr stumpfsinnig herumsitzen. Bei nicht injicierten Tieren finden sich diese Erscheinungen in sehr viel geringerem Grade.

Zweifellos handelt es sich bei dieser Ohrnekrose um eine Lichtwirkung, da aber Harmalin, Chinolinrot und Phosphin keine Ohrnekrose hervorrufen, wohl nicht um eine Fluorescenzwirkung. Wahrscheinlich werden vielmehr durch das injicierte Eosin mehr sich in Wärme umsetzende Strahlen absorbiert und dadurch die Ohren einfach verbrannt. Allerdings will ich der Vollständigkeit halber erwähnen, dafs das Eosin bei den Fluorescenzwirkungen auf Paramäcien unter den fluorescierenden Körpern die stärksten Lichtwirkungen gezeigt hat.

Bei anderen Tieren als Mäusen war diese Ohrnekrose nicht zu erzeugen. Zu diesem Zwecke wurden sechs Meerschweinchen von 350—430 g Gewicht 1,0 ccm Eosin 4 : 100 und 1,0—5,0 ccm Eosin 1 : 50 injiciert und die Tiere stark belichtet (Februar, März 1900), ohne dafs etwas ähnliches auftrat, obwohl zweifellos das Licht das Fell der weifsen Meerschweinchen durchdringt. Bringt man nämlich Paramäcien in Glasröhrchen mit Eosin 1 : 4000 unter die Haut eines belichteten Meerschweinchens, so gehen die Paramäcien in etwa einer Stunde zu Grunde. Dagegen bekamen fast alle und zwar auch die im Dunkeln gehaltenen Tiere meist an den tiefsten Stellen des Leibes nach drei bis sechs Tagen kleine, rundliche Löcher, die aussahen, als ob sie bald wieder heilen würden. Plötzlich aber vergröfserten sich dieselben, einmal mit gleichzeitigem Übergang zur feuchten Nekrose, bei einem anderen Tiere wurde sogar eine ausgedehnte Hautablösung beobachtet. Es scheinen also Meerschweinchen gegen Eosin empfindlich zu sein, so dafs man auch beim Menschen Injektionen von Eosin nur mit Vorsicht machen dürfte. Grofse Mengen von Eosin wurden ferner unter Belichtung Tauben injiciert. Eine Taube erhielt innerhalb fünf Tagen 7,0 ccm Eosin 4 : 100, eine zweite an einem Tage 6,0 ccm Eosin 4 : 100, eine dritte 3,0 ccm davon. Die zweite

starb am zweiten Tage, die übrigen blieben gesund und ohne Nekrosen. Auch Hähnen wurden ohne Erfolg grofse Mengen Eosin injiciert.

Weiterhin habe ich noch eine gröfsere Zahl Versuche über Fluorescenzwirkungen und Lichtwirkungen auf Bakterien gemacht; da es aber dabei aus technischen Gründen nicht möglich war, eine einwandsfreie physikalische Basis zu finden, so können dieselben vor der Hand nicht verwertet werden. Die früher erhaltenen Resultate, wie sie im Anfang angeführt sind, erweitern sich demnach folgendermafsen:

I. Chinolinrot- und Harmalinlösungen (Eosin) zeigen gegenüber Paramäcium caudat. dieselbe Fluorescenzwirkung wie Akridin und Phosphin. Die nicht fluorescierenden Fuchsin- und Krystallviolettlösungen werden in ihrer Wirkung auch nicht durch das Licht beeinflufst. Diese Resultate decken sich vollkommen mit den früheren.

II. Die früher auf Grund theoretischer Erwägung ausgesprochene Vermutung, dafs auch die Fluorescenzerzeugung an und für sich unschädlich ist, erweisen die Versuche mit dem Äsculin als richtig.

III. Sonnenlicht vermag bei Mäusen lokale Nekrosen der Ohren zu erzeugen, wenn man denselben vorher Eosin injiciert.

Auch am Schlusse dieser Arbeit habe ich wiederholt meinem hochverehrten früheren Lehrer Herrn Prof. Dr. v. Tappeiner, sowie seinem Assistenten Herrn Privatdocenten Dr. Jodlbauer meinen herzlichsten Dank für die stetige, überaus wertvolle Unterstützung auszudrücken, die mir von ihrer Seite zu Teil geworden ist.

Die Bedeutung des Glossopharyngeus für die Innervation des Wiederkauaktes.

Von

Emil Krüger, Tierarzt in Lobsens.

(Aus dem Hallerianum zu Bern.)

Der Zungenschlundkopfnerv vereinigt in sich fast alle Wirkungsarten, die man bei Nerven gefunden hat. Es sind ihm motorische Funktionen zugeschrieben worden, sodann direkte sekretorische und die Sekretion reflektorisch anregende Fasern, demnach zentripetal leitende Reflexerregungen, Hemmungswirkungen im Gebiete des nervösen Schluckmechanismus und der Atmungsauslösungen, ebenso im Gebiete des Gefäfsnervenzentrums und der den Puls regulierenden Nervenkerne. Sodann vermittelt er als Sinnesnerv zum guten Teile die Geschmacksempfindungen. S. Meltzer verdanken wir die Kenntnis der Beziehungen des Glossopharyngeus zum Schluckakte, M. Marckwald diejenige zur Ateminnervation.

Nachdem die Bedeutung dieses mächtigen Nerven zu der Schluckbewegung festgestellt worden war, fehlte die Kenntnis seiner Wirkungen beim Wiederkauen. Hierfür war seine Funktion um so wichtiger zu erachten, da sein Wert als Hemmungsnerv ihn für das Erbrechen unentbehrlich erscheinen liefs.

Ich habe daher auf Rat des Herrn Prof. Dr. Kronecker bei Schafen den Einflufs des N. glossopharyngeus auf das Wiederkauen zu erforschen versucht.

Zuvor erschien es geboten, die nicht übereinstimmenden Angaben früherer Forscher über die mannigfachen Funktionen des Zungenschlundkopfnerven zu prüfen.

Albrecht v. Haller beschreibt den Verlauf des Glossopharyngeus und läfst ihn zu dem M. stylohyoideus und M. biventer, ferner zu den Pharynxmuskeln regellos Fasern schicken. Verbindungen des eben erwähnten Nerven mit dem N. trigeminus und N. hypoglossus konnte er nicht bestätigen. Als Geschmacksnerv sieht er den N. lingualis nervi quinti an, weil dieser allein zu der Spitze der Zunge gelangt, woselbst die schärfste Geschmacksempfindung lokalisiert sei. Der neunte Nerv (Hypoglossus) endige viel früher. Vom Quintus allein habe er Fäserchen bis in die Papillen verfolgen können.

Volkmann gibt in seinem Artikel »Nervenphysiologie« des Wagnerschen Handwörterbuches der Physiologie vom Jahre 1844 Bd. II. S. 583 folgende knappe Beschreibung der Funktionen des Zungenschlundkopfnerven: »Der Zungenschlundkopfnerv entspringt mit zwei Wurzeln, deren stärkere noch vor Austritt aus der Schädelhöhle ein Ganglion bildet. Dieses nach Ehrenritter benannte Ganglion gab Anlafs, den Bellschen Lehrsatz auf den Glossopharyngeus anzuwenden, und die durch den Knoten setzende Wurzel als sensibel zu betrachten. Diese Betrachtungsweise ist schon deshalb unzulässig, weil auch die zweite dünnere Wurzel durch ein Ganglion hindurchtritt, durch das Ganglion petrosum. Ich habe mich durch wiederholte mikroskopische Untersuchungen, besonders beim Kalbe, überzeugt, dafs alle Wurzelfäden des Zungenschlundnerven entweder durch das eine oder das andere dieser Ganglien, die übrigens oft verschmelzen, hindurchtreten.

Reizung der kleineren Wurzel bewegt den M. constrictor faucium medius und stylopharyngeus auch nach Wegnahme der Medulla oblongata. Hierauf beschränkt sich die motorische Wirkung des neunten Paares. Die Sensibilität desselben wurde von Panizza in Zweifel gezogen, weil er bei Durchschneidung des Nerven keine Schmerzenszeichen bemerkte. Valentin, Alkok und Reid dagegen versichern, solche gesehen zu

haben, und Longet behauptet, dafs Durchschneidung des Glossopharyngeus das Gefühlsvermögen im hinteren Dritteile der Zunge, in den Gaumenbögen und einem Teile des Schlundes vernichte. Ich habe Grund, diese Angaben für richtig zu halten, da nach meinen Untersuchungen nach Durchschneidung des neunten Paares in der Schädelhöhle die Reizbarkeit derselben Teile für reflecto-motorische Erscheinung aufhörte, die nach Durchschneidung des Quintus fortgedauert hatte.

Panizza glaubt auf dem Wege der Vivisektion gefunden zu haben, dafs der Zungenast des neunten Paares ausschliefslich den Geschmack vermittle, und Wagner, Valentin, M. Hall, Stansky, Stannius und Stamm bestätigen nach ihren Erfahrungen diese Ansicht. Dagegen haben Magendie, Mayo, Müller, Reid, Lisfranc und Longet dem Zungenaste des fünften Paares, wo nicht ausschliefslich doch teilweise die Funktion des Schmeckens zugesprochen. Nach dem, was ich bei Bidder zu sehen Gelegenheit hatte, würde ich die Vivisektion wenigstens nicht für einen entscheidenden Beweis zu Gunsten Panizzas anzusehen wagen«.

Henle sagt, dafs der Glossopharyngeus durch Äste, welche vom Ganglion petrosum aus- oder eingehen, mit dem Trigeminus, Facialis, Vagus, sowie mit dem carotischen Geflechte des Sympathicus anastomosiert. Der Ramus pharyngeus gesellt sich zu Ästen des Vagus und Sympathicus; denen er den Plexus pharyngeus bilden helfe. Einen etwas stärkeren Ast gebe er dem M stylopharyngeus, den er mit dem gröfsten Teil seiner Fasern nur durchbohre, um im Pharynx zu endigen. Oberhalb dieses Nerven gehen einige feine Fäden aus dem konvexen Rande des Stammes gleichfalls zum Pharynx. Aufserdem sende er 2—3 Nervi tonsillares in die Rachenschleimhaut. Über die Geschmacksenergie der Hauptmasse des Zungenastes könnte kein Zweifel bestehen. Die Mehrzahl der Rachen- und Pharynxäste seien durch die Muskelfasern bis zur Schleimhaut zu verfolgen, also zentripetal. Es liege die Vermutung nahe, dafs sie in ihren Eigenschaften den in die Zunge ausstrahlenden Fasern verwandt seien, also dem Geschmackssinne dienen. Die Schmeckfähigkeit

der Seitenteile des weichen Gaumens und der arcus glosso-palatini lasse sich wohl auf Rechnung von Glossopharyngeuszweigen bringen, ebenso die Anwesenheit der Geschmackskolben auf der unteren Fläche der Epiglottis. Wie weit er sich vor den wallförmigen Papillen auf dem Zungenrücken erstrecke und wie die Grenze zwischen seinem Gebiete und dem der Geschmacksfasern des N. lingualis Trigemini verlaufe, sei nicht genau festzustellen. Die Kontraktionen, welche auf Reizung des Stammes unterhalb des Ganglion petrosum erfolgen, liefsen sich auf motorische Fasern beziehen, die der Facialis oder Vagus zuführe.

Eine sehr gute anatomische Beschreibung des Glossopharyngeus hat Jakob in seiner preisgekrönten Arbeit »Die Verbreitung des Glossopharyngeus im Schlundkopfe und in der Zunge« geliefert. Nach diesem Autor gibt der Zungenschlundkopfnerv schon während seines Laufes durch das Foramen jugulare den R. tympanicus ab, geht eine Verbindung mit einem Faden vom Facialis, sowie mit dem Vagus und einem Aste vom oberen Ende des Ganglion sympathicum ein, gibt nach seinem Austritt aus dem Foramen Fäden an den hinteren Bauch des M. digastricus und M. stylohyoideus ab und teilt sich dann bald in den R. lingualis und R. pharyngeus; letzterer entsendet einige Fasern in die Bahn des N. pharyngeus superior Vagi (rückläufige Fasern), verbindet sich dann mit dem R. pharyngeus superior Vagi und beide gehen dann vereint bis zum Schlund; dort trennen sie sich, um sich in schlingenförmigen Anastomosen zu verbinden, aus welchen die zahlreichen Äste zur Muskulatur, zur Schleimhaut und zu den Drüsen gehen; die untersten Äste verbinden sich mit denen des Ramus pharyngeus inferior N. Vagi. Aus der vom Verfasser beigegebenen Figur ist ersichtlich, dafs er meint, die benachbarten Zweige des R. pharyngeus superior und des R. pharyngeus inferior Vagi gehen Anastomosen ein. Über die Verbindung des R. lingualis Quinti sagt er, dafs sie über 1 cm lang Fäden austauschen und dafs die Zweige, welche an dem Grenzgebiete beider Nerven an die Schleimhaut gelangen, von Fasern beider Nerven gebildet werden. Hierin glaubt er den

Beweis zu finden, dafs der Glossopharyngeus nicht bis zur Zungenspitze läuft.

Nach der Beschreibung von Schwalbe verläfst der Glossopharyngeus die Medulla oblongata dorsalwärts von der Olive mit 5—6 Fäden, die sich dann bald zu einem vorderen kleineren und einem hinteren gröfseren Bündel, »den Wurzeln des neunten Gehirnnerven«, vereinigen und die Schädelhöhle durch das Foramen jugulare mit dem Vagus und Accessorius verlassen, von denen sie durch einen Streifen der Dura mater getrennt sind. Hinter dem Ganglion petrosum vereinigen sie sich zu einem Stamme. Es ist noch nicht sicher konstatiert, ob sämtliche Fasern des Glossopharyngeus das Ganglion durchsetzen, oder nur das gröfsere hintere Bündel (Arnold). Das Ganglion petrosum entspricht zweifellos einem Spinalganglion. Rauber hält es dagegen für ein sympathisches Ganglion des Kopfes.

Der Zungenschlundkopfnerv geht Verbindungen ein mit den Bahnen des Facialis, Vagus und Sympathicus, sendet Zweige zur Schleimhaut des mittleren Ohres, zum Pharynx, zur Tonsille und zum Gaumensegel und endet als wesentlicher Geschmacksnerv im hinteren Teile der Zunge. Die meisten dieser Fasern sind unzweifelhaft sensibler Natur. Motorische Fasern sind von Volkmann und Hein für den Musculus stylopharyngeus nachgewiesen, doch ist es möglich, dafs sie ihm aus einer anderen Quelle zugeführt werden.

Cl. Bernard erklärt den Glossopharyngeus für den alleinigen Geschmacksnerven, da nach seiner Meinung die Schmeckfasern des Ramus lingualis N. trigemini ebenfalls aus der Bahn des Glossopharyngeus stammen, wogegen Schiff behauptet, dafs der lingualis trigemini selbst Geschmacksfasern führe.

Joh. Müller, Gurlt und Kornfeld kamen auf Grund ihrer, im Sommer 1836 in der Tierarzneischule zu Berlin angestellten Versuche zu der Überzeugung, dafs der Zungenschlundkopfnerv nicht den Geschmack vermittle, da Tiere nach vollständiger Durchschneidung desselben auf beiden Seiten noch Geschmacksempfindung erkennen liefsen.

W. Sandmeyer suchte zwischen den Angaben älterer Autoren, besonders von Vintschgau und Hönigschmied, denen zufolge nach Durchschneidung des Glossopharyngeus die Schmeckbecher schwinden und den Befunden Baginskys, der einen solchen Zusammenhang nicht konstatieren konnte, durch Versuche zu entscheiden, indem er Kaninchen auf einer oder beiden Seiten den Glossopharyngeus, in der Höhe des grofsen Zungenbeinhorns, durchschnitt. Nach vier Tagen seien die Geschmacksknospen verkleinert, nach 27 Tagen seien sie nicht mehr zu finden gewesen.

Feodor Krause teilt einige Fälle mit, in denen an Menschen das Ganglion Gasseri entfernt worden war. Die Geschmacksempfindung sei bei den einzelnen Kranken verschieden ausgefallen, doch gehe aus den Befunden hervor, dafs der N. trigeminus Fasern enthalte, welche die Geschmacksempfindung für einzelne Qualitäten, hauptsächlich für süfs, sauer und salzig vermitteln, und dafs diese Fasern sich in der Zungenspitze und in den vorderen zwei Dritteln des Seitenrandes verteilen.

Halban berichtet über zwei Fälle, in denen bei der Unterkieferresektion der R. lingualis einer Seite durchschnitten worden war. Nach der Operation fehlten: Tastgefühl und Geschmacksempfindung auf den vorderen Teilen der Zunge bis zu den umwallten Papillen.

Rollett hat bemerkt, dafs, wenn er Ätherdämpfe durch die Nase einzog, er eine Bitterempfindung an der Zungenbasis und am weichen Gaumen hatte.

D. P. Hänig kam durch Untersuchungen unter Wundts Leitung im Leipziger psychologischen Institute u. a. zu folgenden uns interessierenden Sätzen:

»1. Bitter wird an allen Punkten der Zungengeschmackszone empfunden, aber in verschiedenen Intensitätsgraden.

2. Das physiologisch-peripherische Maximum der Sensibilität für Bitter befindet sich im Bezirke der Pap. vall. und Pap. foliatae, das Minimum an der Zungenspitze und den ihr unmittelbar benachbarten Randgebieten.

3. Die Perceptionsfähigkeit für Bitter nimmt von der Region der Pap. vall. bis zur Zungenspitze anfangs plötzlich, dann allmählich ab; hingegen von der äufseren zur inneren Grenze der Geschmackszone verringert sie sich stetig.«

Nach meinen Untersuchungen über den Verlauf des N. Glossopharyngeus kann ich nur die Angaben Jakobs bestätigen, hauptsächlich auch darin, dafs der gröfste Teil der Fasern des Ramus pharyngeus vom neunten Nerven die Muskulatur des Pharynx durchbohrt und sich in der Schlundkopfschleimhaut verbreitet.

Einige Physiologen — Panizza, Reid, Longet, Biffi e Morganti — glaubten dem Zungenschlundkopfnerven auf Grund ihrer an Hunden, Katzen uud Kaninchen vorgenommenen Experimente jede motorische Eigenschaft absprechen, zu müssen. Andere, wie J. Müller, Volkmann, Hein, hielten ihn für einen gemischten Nerven.

Auf Grund unserer besseren Kenntnisse von der Schluckbewegung und deren Innervation habe ich die Funktion des Glossopharyngeus aufs neue nach verschiedenen Richtungen geprüft.

Zu diesem Zwecke wurde eben geschlachteten Schafen die Schädelhöhle geöffnet und das Gehirn von der Stirnseite her aufgehoben. Dann durchschnitt ich alle Hirnnerven bis zum neunten Paare. Als die noch mit dem Gehirn in Zusammenhang stehenden Glossopharyngeuswurzeln mit intermittierenden Induktionsströmen durch den magnet-elektrischen Rotationsapparat (Stoehrer) einige Sekunden lang gereizt wurden, zuckten der M. Stylopharyngeus und der M. constrictor pharyngis medius ganz kurz, trotz dauernder Reizung. Mechanische Reize lösten gleichfalls kurze Zuckungen aus. Gleichen Effekt erhielten wir durch Tetanisieren des abgetrennten Nervenstumpfes in der Schädelhöhle. Wenn wir den Nerv nach seinem Austritte aus dem foramen jugulare reizten, so traten stärkere und anhaltendere Kontraktionen in den zugehörigen Muskeln ein.

Wenn der Vagusstamm in der Schädelhöhle tetanisiert wurde, so blieben die Muskeln des Pharynx und des Ösophagus zusammen-

gezogen, solange der Reiz dauerte, dabei wurde durch kombinierte Kontraktion der Längs- und Ringmuskulatur die Speiseröhrenschleimhaut am kardialen Ende vorgestülpt.

Bei Hunden und Kaninchen fanden wir die gleichen Erscheinungen. Der gereizte Vagus verkürzte den Ösophagus, welcher die Kardia kräftig aufwärts zog.

Der Glossopharyngeus erwies sich auch schmerzerregend. Während man ihn durchschnitt, zuckten die Tiere (Kaninchen, Hunde, Schafe), obgleich sie narkotisiert waren. Doch erwies sich der Vagus viel empfindlicher als der Glossopharyngeus.

Immerhin ist der Nerv für die oben angegebenen Funktionen unverhältnismäfsig dick. Wie oben erwähnt, fand Jakob, was ich bestätigen konnte, dafs viele Aste die Pharynxmuskulatur durchbohren und sich in der Schleimhaut des Schlundkopfes verbreiten. Mit Recht fragt man sich da, was sollen alle diese Verzweigungen in der Schlundkopfschleimhaut? Dieselbe ist, wie wir aus eigener Erfahrung wissen, fast gefühllos, höchstens schmerzempfindlich. Auch erkennt man beim Abschlucken eines Gegenstandes nicht dessen Form, sondern man hat nur das Gefühl des Kratzens, wenn derselbe scharfe Kanten oder Ecken hat. Zu den wenigen Drüsen des Pharynx können auch nicht viel Nervenzweige gehen.

Wenn man nun in Betracht zieht, dafs der N. glossopharyngeus als Hemmungsnerv der Schluckbewegung und der Atembewegung dient, wie S. Meltzer, Wassilieff und M. Marckwald gezeigt haben, so mufs man die Pharynxgeflechte als centripetal leitende Reflexnervenfasern ansehen.

Merkwürdig ist, dafs in den mir zugänglichen Lehrbüchern der Physiologie der Schluckmechanismus, soweit er die Dauer der einzelnen Schluckakte betrifft, falsch dargestellt worden ist, obgleich sich die Autoren auf die Arbeiten in H. Kroneckers Laboratorium berufen.

Während die alte Lehre den Bissen, nachdem er zum Pharynx gelangt war, durch die Kontraktion der Konstriktoren in den Ösophagus treiben liefs und von hier in den Magen durch die Peristaltik, d. h. durch die von Stelle zu Stelle fortschreitende

Kontraktion der Längs- und Ringmuskelfasern des Ösophagus, kann man jetzt in den Lehrbüchern lesen, dafs der Bissen in einem Akte, in weniger als $^1/_{10}$ Sekunde bis »in den Magen« hinabgeschleudert werde. In Meltzers Arbeit (S. 333) heifst es aber: »Jedenfalls übersteigt die Dauer, während welcher der Schluck vom Pharynx bis zu den tiefsten Stellen des Ösophagus gelangt, nicht 0,1 Sekunde«. Weiter (S. 350): »Die Auskultation neben dem Schwertfortsatz, also neben der Kardia, lehrt: erstens mit Wahrscheinlichkeit, dafs die Kardia beim Menschen unter normalen Verhältnissen geschlossen ist; zweitens mit einiger Sicherheit, dafs die Schluckmasse nicht unmittelbar in den Magen gespritzt wird, sondern normalerweise oberhalb der Kardia liegen bleibt und erst mit der anlangenden sogenannten Peristaltik weiterbefördert wird.« Um die Dauer der einzelnen Schluckakte festzustellen, hat S. Meltzer die Kardiaregion von über 100 Menschen auskultiert und hat sichergestellt, dafs meistens 6—7 Sekunden vergehen, bevor die geschluckte Masse in den Magen gelangt. Von dieser Thatsache kann man sich sehr leicht überzeugen, wenn man einen Menschen einen Schluck Wasser trinken läfst, ihm das Abschlucken kommandiert, während man die Kardia auskultiert. Etwa 6 Sekunden nach dem Befehle und Schlucke hört man das »Durchprefsgeräusch«.

Um die Dauer des Schluckaktes beim Schafe festzustellen, liefsen wir die Versuchstiere einige Tage ohne Trinkwasser. Alsdann wurden sie auf einen Tisch gestellt und ihnen Wasser zum Trinken vorgehalten. Der eine Beobachter markierte das Moment des Schluckbeginnes (Kehlkopfhebung), ein anderer behorchte die Kardia und gab ein Zeichen, sobald er das »Durchprefsgeräusch« hörte. Ein dritter Beobachter bestimmte die Zeitintervalle. Durch diese Untersuchungen wurde die Dauer des Schluckaktes beim Schafe auf 2—3 Sekunden festgestellt. Dies ist ein wenig länger als beim Kaninchen. Es ist bemerkenswert, dafs die Schafe, ebenso wie die Kaninchen und alle Wiederkäuer (Fürstenberg), in der ganzen Länge des Ösophagus quergestreifte Muskelfasern haben.

Um die Ausfallerscheinungen kennen zu lernen, durchschnitt ich am 5. Juli 1901 einem Schafe (das mittels 400 ccm 47,5 proz. Alkohols narkotisiert war) beide Glossopharyngei. Beim Durchschneiden des Nerven zuckte das Tier. Einige Stunden nach der Operation starb das Tier in der Narkose an Alkoholvergiftung.

Für Wiederkäuer ist Alkohol ein gutes Narkoticum, doch genügen bereits 100—140 ccm 47,5 proz. Alkohols, um ein Schaf in einen 2—3 Stunden dauernden Schlaf zu versetzen.

Um den Zungenschlundkopfnerven freizulegen, sucht man in dem Winkel zwischen Unterkieferast und Atlas durch Tasten mit dem Zeigefinger den Griffelfortsatz des Hinterhauptbeines. Auf demselben durchschneidet man die Haut und führt den Schnitt in der Richtung auf die Umbiegungsstelle des Unterkieferastes bis zur V. jugularis. Hierbei werden einige kleine Hautvenen unterbunden und durchschnitten, wonach das Operationsfeld unblutig bleibt. Von da ab wird nur mit stumpfen Instrumenten operiert und auch mit diesen noch sehr vorsichtig, da man sonst aus den sehr vielen, in diesem Winkel liegenden Gefäſsen, Blutungen bekommen kann, die das Aufsuchen des Nerven sehr erschweren oder gar unmöglich machen. Die Ränder der Haut wie das Fettgewebe werden zur Seite gezogen. Jetzt tritt ein roter Muskel ins Gesichtsfeld, der vom unteren Ende des Griffelfortsatzes des Hinterhauptbeines schräg nach unten, vorn und auſsen verläuft. Dieser (der M. digastricus Maxillae inferioris) wird von innen her mit einem breiten krummen Haken nach vorn und auſsen gezogen. Unter demselben bahnt man sich mit zwei Präpariernadeln einen Weg zum Foramen lacerum, indem man das Fettgewebe zur Seite schiebt. Bald bemerkt man einen starken Nerven, der durch seinen weiſsen Glanz von dem übrigen Gewebe absticht und in einem nach vorn offenen Bogen zur Zungengegend zieht: den Nervus hypoglossus. Derselbe kreuzt die äuſsere Kopfarterie dort, wo sich dieselbe in die äuſsere und innere Kinnbackenarterie teilt. Medianwärts von der äuſseren Kinnbackenarterie und noch näher dem Schädelgrunde stöſst man wiederum auf einen Nerven, der einen kleineren Bogen

beschreibt als der N. hypoglossus und dünner ist als derselbe. Dies ist der N. glossopharyngeus, dessen Stamm sich bald in zwei Aste teilt. Der schwächere ist der Ramus pharyngeus, der stärkere hintere Ast wendet sich als Ramus lingualis nach vorn zur Zunge. Man durchschneidet den Nerv möglichst hoch oben, bald nach seinem Austritte aus dem Foramen lacerum, um sicher zu sein, dafs der Stamm durchtrennt wird, bevor er Äste abgegeben hat. Die Hautwunde wird durch eine fortlaufende Naht geschlossen und mit Jodoformkollodium und etwas Watte bedeckt.

Ein seit 14 Tagen im Institute gefüttertes Schaf, welches gut soff, frafs und wiederkaute, wurde mit 140 ccm $47^1/_2$ proz. Alkohols narkotisiert, hierauf wurden beide Nn. glossopharyngei freigelegt und v. Basch-Ludwigsche Elektroden unter die unversehrten Nerven geschoben. Induktionsströme von 400 Einheiten eines graduierten Schlittenapparates, dessen mit 3 Tauchelementen bespannte primäre Rolle mit Drahtbündeln versehen war, dienten zur Reizung. Solche Ströme spürte ich auf der Zungenspitze stark prickeln, deutlich an den befeuchteten Lippen, garnicht an der befeuchteten Fingerspitze oder dem Handrücken. Die so gereizten Nn. glossopharyngei hemmten das Schlucken von ins Maul gegossenem Wasser. Bald ermüdeten die Nerven, und ins Maul gegossenes Wasser wurde geschluckt. Nach diesem Versuche wurden beide Nerven durchschnitten, wobei das Tier zuckte. Die Wunde wurde darauf kunstgerecht geschlossen. Zwei Stunden nach Beendigung der Operation wurde das Schaf in seinen Stall gebracht, wo es sofort frisches Gras frafs, aber nur in kleinsten Quantitäten. Das Abschlucken schien ihm Beschwerden zu verursachen. Sowohl an diesem wie an dem folgenden Tage soff das Tier oftmals Wasser. In den nächstfolgenden Tagen, in denen die Wunde ohne Eiterung heilte, wurde das Schaf sorgfältig beobachtet. Man sah es Gras fressen, aber nicht wiederkauen. Sechs Tage lang nach der Operation blieb es ungewöhnlich still und deprimiert. Puls, Atmungsfrequenz und Rectaltemperatur waren normal, letztere betrug gleich derjenigen des Vergleichsschafes 38,5—39° C. In den ersten Tagen nach

der Operation flofs ihm Speichel aus dem Maule und Schleim aus der Nase; es schluckte öfters ohne Nahrungsaufnahme. Am siebenten Tage nach der Operation sahen wir das Schaf zum ersten Male wiederkauen, doch ist nicht ausgeschlossen, dafs es schon in der Nacht wiedergekaut hatte. Die Rejektion des Bissens geschah unter sehr heftigen Anstrengungen der Bauchpresse, wobei das Tier den Kopf und Hals weit vorstreckte. Öfters trat die Bauchpresse drei- bis viermal in Thätigkeit, bevor der Bissen in das Maul gelangte; zuweilen kam der zum Wiederkauen bestimmte Ballen überhaupt nicht bis in die Maulhöhle, sondern blieb in den oberen Teilen des Ösophagus stecken und wurde dann wieder abgeschluckt. Dabei schüttelte das Tier den Kopf und scharrte öfters mit den Vorderfüfsen.

Das charakteristische Aussehen des wiederkauenden Schafes ist durch nebenstehende Photographie (Fig. 1) fixiert worden. Der vorgestreckte Kopf läfst erkennen, wie das Schaf sich bemüht, das Aufsteigen des Bissens (der bei *a* die Haut vorwölbt) zu erleichtern. Auch die starke Zusammenziehung der Bauchmuskeln ist bei *b* bemerklich.

Einem anderen Schafe wurde nur der N. glossopharyngeus der linken Seite durchschnitten. Dasselbe frafs noch am Tage der Operation und kaute am nächsten Tage wieder. Man gewann dabei den Eindruck, dafs die Bauchpresse bei der Rejection des Bissens stärker gebraucht wurde als beim normalen Wiederkauen. Auch legte es sich zum Wiederkauen gern nieder. Der Bissen jedoch blieb niemals wie bei Schaf No. 1 im Ösophagus stecken, sondern gelangte regelmäfsig in die Maulhöhle.

Die Prüfung der Geschmacksempfindung beider Tiere erschien von Interesse, um die Beziehungen des Trigeminus zum Glossopharyngeus festzustellen.

Bei dem Schafe mit dem einseitig durchtrennten Glossopharyngeus konnte festgestellt werden, dafs es Geschmack für salzig, süfs, sauer und bitter bewahrt hatte.

Das Schaf, dem beide Zungenschlundkopfnerven durchschnitten waren, schmeckte Kochsalz. Es frafs gierig davon zum ersten Male; tags darauf verweigerte es die Aufnahme. Nach

einigen Tagen nahm es wiederum Salz. Je gröſser die Zeitpausen waren, in denen man ihm Salz gab, um so gieriger fraſs es dasselbe. Hiernach ist zu schlieſsen, daſs es Salz schmeckte. Mit dargebotenem Zucker lieſs es sich locken. Saccharin nahm es auch gerne und drückte sein Wohlbehagen durch Kopfnicken



Fig. 1.

aus. Den Saft von Zitronen schmeckte es ebenfalls, verzog dabei die Lippen, leckte aber trotzdem an der Schnittfläche der Zitrone und fraſs deren Körner. Dagegen hatte es für das Bittere keinen Geschmack. Man konnte ihm eine 1 proz. Strychninlösung auf die Zunge gieſsen, ebenso Chininpulver aufstreuen, ohne daſs es dabei Zeichen einer unangenehmen Geschmacksempfindung geäuſsert hätte. Solche Schmeckproben habe ich oft mit gleichem Erfolge an diesem Schafe angestellt.

Die Sektion beider Schafe (20 resp. 35 Tage nach der Operation) wurde im Beisein der Herren Professoren Dr. Kronecker und Dr. Rubeli von mir ausgeführt und ergab, daſs bei Schaf No. 1 beide, bei Schaf No. 2 der Glossopharyngeus der linken Seite durchschnitten waren.

Aus den Zungen beider Schafe wurde die Region der Pap. circumvallatae in Längsstücken herausgeschnitten und in Flemmingsche Lösung gelegt. Ein Teil der Präparate wurde im Block gefärbt mit Hämatoxilin Eosin, resp. Hämatoxilin neutralem Karmin, der andere Teil der Blöcke wurde in Schnitten (3—5 μ) mit Hämatoxilin, Pikrokarmin und Boraxkarmin gefärbt. In allen umwallten Papillen des Schafes No. 1 und denjenigen der linken Seite des Schafes No. 2 waren Geschmacksknospen nicht

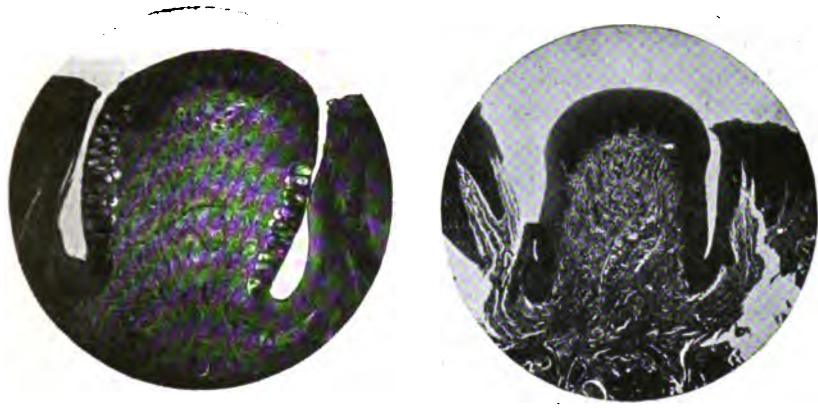


Fig. 2. Fig. 3.

zu finden, während dieselben auf der rechten Seite bei Schaf No. 2 in grofser Anzahl sichtbar waren. In der ersten der zwei obenstehenden Photographien (Fig. 2) sieht man die Geschmacksknospen deutlich erhalten, entsprechend derjenigen Zungenhälfte, die mit den Glossopharyngeuskernen in Verbindung geblieben war.

In der zweiten Photographie (Fig. 3), welche ein Präparat der von den Glossopharyngeuskernen abgetrennten Zunge wiedergibt, sieht man keine Knospen mehr.

Hierdurch ist der Beweis geliefert, dafs beide Zungenschlundkopfnerven durchtrennt waren.

Aus diesen Beobachtungen ergibt sich:

1. Der Glossopharyngeus begünstigt, als Hemmungsnerv der Ösophaguskontraktion und der Kardia, die Rejektion des Bissens.

2. Die vom Glossopharyngeus versorgten Teile der Zungenschleimhaut (namentlich die Papillae circumvallatae) verlieren nach Durchschneidung der Nervenstämme, dicht nach ihrem Austritte aus der Schädelhöhle, ihr Sinnesepithel, und damit erlischt auch die Geschmacksempfindung für bittere Stoffe.

Zum Schlusse sei es mir gestattet, Herrn Prof. Dr. Kronecker, unter dessen Leitung vorstehende Abhandlung entstanden ist, für dessen wohlwollendes Interesse an meiner Arbeit meinen wärmsten Dank auszusprechen, ebenso Herrn Prof. Dr. Rubeli, unter dessen Anleitung ich die Sektionen der Tiere und die histologischen Untersuchungen der Geschmacksorgane in den Zungen ausgeführt habe.

Litteratur.

Arloing, Application de la méthode graphique à l'étude du mécanisme de la déglutition chez les mammifères et les oiseaux. Paris 1877.

Aldehoff und v. Mering, Über den Einfluſs des Nervensystems auf die Funktionen des Magens. Verhandl. d. Kongr. f. innere Med. 1899, S. 332—335.

B. Baginsky, Über das Verhalten von Nervenendorganen nach Durchschneidung der zugehörigen Nerven. Virchows Archiv 1894, Bd. 137 S. 389.

Claude Bernard, Leçons sur la physiol. et la pathol. du système nerveux 1858, t. II p. 94.

Bruckmüller, Lehrb. d. Physiol. f. Tierärzte. Herausgegeben von Polansky. Wien 1885.

Biffi e Morganti, Sui nervi della lingua. Richerche anat. fisiol. (estratte degli Annali universali di medicina) vol. CXIX. Milano 1846.

Bidder, Schmecken. Wagners Handwörterb. d. Physiol. 1846, Bd. 2 Abteil. 1 S. 1.

Courtade et Guyon, Contribution à l'étude de l'innervation motrice de l'estomac. Arch. de Physiol. et de pathol. génér. 1899, pp. 38—46.

Colin, Physiologie comparée. Paris 1886.

Flourens, Expériences sur le mécanisme de la rumination. Paris 1844.

Fürstenberg, angeführt in Gurlts Lehrbuch.

Gurlt, Handb. d. vergleichenden Anatomie d. Haussäugetiere. Neu bearbeitet von Leisering und Müller. Berlin 1873.

Henle, Anatomie des Menschen. Braunschweig 1868.

Hyrtl, Lehrbuch des Menschen. Wien 1863.

Hein, Die Nerven des Gaumensegels. Müllers Archiv f. d. Physiol. 1844, S. 297 u. ff.

Halban, Zur Physiologie der Zungennerven. Wiener klin. Rundschau 1896, No. 4.

Harms, Die Rumination, S. 28 u. ff. der deutschen Zeitschrift für Tiermed. und vergleichenden Pathol. 1877, Bd. 3.

v. Haller, Elementa Physiologiae corporis humani. T. IV p. 218 e 232, 1762 und T. V p. 42, 1763.

D. P. Hänig, Zur Psychophysik des Geschmacksinnes. Wundts philosophische Studien. 1901, Bd. 17 Heft 4.

Jakob, Die Verbreitung des N. glossopharyngeus im Schlundkopfe und in der Zunge. München 1873.

Kreidl, Experimentelle Untersuchungen über das Wurzelgebiet des N. glossopharyngeus, vagus, accessorius beim Affen. 1898.

Krause, Die Physiologie des Trigeminus, nach Untersuchungen am Menschen, bei denen das Ganglion Gasseri entfernt worden ist. Münchener med. Wochenschr. 1895, No. 25 u. ff.

Kronecker, Die Schluckbewegung. Vortrag, gehalten in der Gesellschaft f. Heilkunde. Deutsche med. Wochenschr. 1884, No. 16—24.

Kronecker u. Meltzer, Die Bedeutung des M. mylohyoideus für den ersten Akt der Schluckbewegung. Verhandl. d. physiol. Ges. zu Berlin 1880, No. 13.

Kronecker, Déglutition. Dictionnaire de Physiol. par Charl. Richet. Paris 1900.

Kronecker u. Falk, Über den Mechanismus der Schluckbewegung. Verhandl. d. physiol. Ges. zu Berlin 1880, No. 13. du Bois-Reymonds Archiv 1880, S. 296.

Kronecker u. Meltzer, Über den Schluckmechanismus und dessen nervöse Hemmungen. Monatsber. d. kaiserl. Akad. d. Wissensch. zu Berlin. 24. Januar 1881.

Kronecker, Über den Schluckakt und die Rolle der Kardia bei demselben. Verhandl. d. physiol. Ges. zu Berlin 1881. No. 17 u. 18.

Kronecker u. Meltzer, On the Propagation of inhibitory excitation in the medulla oblongata. Proceedings of the Royal Society. 18. Okt. 1881, No. 216.

Kronecker u. Meltzer, Der Schluckmechanismus, seine Erregung und seine Hemmung. du Bois-Reymonds Archiv 1883. Suppl. E. du Bois-Reymond gewidmet S. 328.

Krüger, Emil, La fonction du nerf glossopharyngien dans la rumination. Archives Italiennes de Biologie. T. XXXVI Fasc. III, 1901. Vorläufige Mitteil. übersetzt aus den Rendiconti della R. Accademia dei Lincei. 20. Okt. 1901.

Landois, Lehrb. d. Physiol. Wien u. Leipzig 1885.

Longet, Traité de Physiol. Paris 1869. T. III p. 501.

C. Ludwig, Lehrb. der Physiologie des Menschen. Leipzig u. Heidelberg 1858.

Magendie, Fonctions et maladies du syst. nerveux 1839, t. II p. 293 et 295.

J. Müller, Gurlt u. Kornfeld, Physiologie des Glossopharyngeus. Müllers Archiv f. d. Physiol. 1837, S. 277.

Montault, Beobachtungen an einem Patienten mit Atrophie des N. hypoglossus und glossopharyngeus. Müllers Archiv f. d. Physiol. 1834, S. 130.

J. Munk, Physiologie des Menschen und der Säugetiere. Berlin 1892.

Morat et Doyon, Physiologie. Paris 1899, T. III p. 419.

J. Müller, Physiologie du système nerv. Trad. de Jourdan I., p. 30, p. 107, 319. 1840.

Meltzer, Über die Vorgänge beim Schlucken. Verhandl. d. physiol. Ges. zu Berlin. du Bois-Reymonds Archiv 1880, S. 446.

Meltzer, Schluckgeräusche. Centralbl. f. d. med. Wiss. 1883, No. 1.

Meltzer, Zu den Schluckgeräuschen. Berliner klin. Wochenschrift 1884, No. 30.

v. Openchowsky, Über die Innervation der Kardia durch die Nn. pneumogastrici. Centralbl. f. d. med. Wiss. 1883, No. 31.

Obersteiner, Anleitung zum Studium des Baues der nervösen Centralorgane im gesunden und kranken Zustande. Leipzig u. Wien 1901.

Remak, Über die peripherischen Ganglien an den Nerven des Nahrungs rohres. Müllers Archiv f. d. Physiol. 1858, S. 189 u, ff.

Rüdinger, Die Anatomie d. menschlichen Gehirnnerven. Stuttg. 1876.

Rollett, Beiträge zur Physiologie des Geruches, des Geschmackes, der Hautsinne und der Sinne im allgemeinen. Pflügers Archiv 1899, Bd. 74 S. 383 u. 465.

Florence R. Sabin, A model of the medulla oblongat, pons and mid-brain of a new-born Babe. Johns Hopkins Hosp. Reports Vol. IX dedicated to W. H. Welch, 1900.

Sandmeier, Über das Verhalten der Geschmacksknospen nach Durchschneidung des Glossopharyngeus. du Bois-Reymonds Archiv 1895, 3/4, S. 269.

Stannius, Versuche über die Funktion der Zungennerven. Müllers Archiv f. d. Physiol. 1848, S. 132 u. ff.

Schmidt-Mühlheim, Grundrifs der Physiologie der Haussäugetiere. Leipzig 1879.

Schwalbe, Anatomie der Sinnesorgane. Erlangen 1887.

Tigerstedt, Lehrb. d. Physiol. d. Menschen 1897/98.

Valentin, Physiologie des Menschen. Braunschweig 1848, Bd. 2 S. 679.

v. Vintschgau u. Hönigschmied, Pflügers Archiv 1876, Bd. 14, 1880, Bd. 23.

Volkmann, Wagners Handwörterb. d. Physiol. 1884, Bd. 2 S. 583.

Volkmann, Über die motorischen Wirkungen der Kopf- und Halsnerven. Müllers Archiv 1840, S. 488 u. ff.

Volkmann, Die Bewegungen des Atmens und des Schluckens mit Berücksichtigung neurologischer Streitfragen. Müllers Archiv f. d. Physiol. 1841, S. 332 u. ff.

Weifs, Specielle Physiologie für Tierärzte u. Landwirte. Stuttg. 1860.

Über Antifermente.

II.

Zur Frage, weshalb die Wand von Magen und Darm während des Lebens durch die proteolytischen Fermente nicht angegriffen wird.

Von

Ernst Weinland.

(Aus dem physiologischen Institut zu München.)

In meiner ersten Mitteilung[1]) habe ich mitgeteilt, dafs aus zerriebenem Brei von Ascariden sich ein Extrakt und aus diesem weiter durch fraktionierte Alkoholfällung eine Substanz darstellen läfst, welche totes Gewebe z. B. Fibrin sowohl gegen Pepsin wie gegen Trypsin zu schützen vermag.

Es lag die Frage nahe, ob das Verhalten im Verdauungstraktus der höheren Tiere ein analoges sei, ob auch dort die Unangreifbarkeit der Organe von der Wirkung gewisser Antifermente, Antipepsin und Antitrypsin, bedingt sei.

Das Verfahren zur Gewinnung der Extrakte war dasselbe wie bei Ascaris. Es wurde der sorgfältig gewaschene obere Teil des Dünndarms vom Schwein, sowie die abpräparierte und ebenfalls gewaschene Mucosa des Magens desselben Tieres verwendet. Dabei erhielt ich schwach alkalisch reagierende, gelbliche bis rötliche Säfte.

---

1) Zeitschr. f. Biol. 1902, Bd. 44 S. 1.

I. Versuche über die Antifermente des Darmes.

Die Versuche versprachen, die einfacheren zu werden, weil in der Mucosa des Dünndarms kein oder fast kein proteolytisches Ferment (Trypsin) enthalten ist. Ich konnte deshalb bei meinen Versuchen die Extrakte selbst direkt verwenden.

Zunächst ergab sich, dafs die Extrakte (sowohl das erste wie das zweite, unter Zusatz von etwas Kochsalzlösung und Dinatriumphosphat gewonnene, Extrakt) antipeptische und antitryptische Wirkung besitzen. Die Mengenverhältnisse waren dabei 10—20 ccm Extrakt auf 1 cg Pepsin bezw. 1—2 cg Pankreaspräparat. Angesäuert wurde in den Pepsinversuchen mit Salzsäure, so dafs die Lösung etwa 0,2 % Salzsäure enthielt. In den Trypsinversuchen wurde eine Sodalösung zugesetzt, so dafs in der Lösung 0,3—0,5 % Soda enthalten waren.

Die Dauer des Fibrinschutzes betrug bei Pepsinversuchen bis zu vier und fünf Tagen, bei Trypsinversuchen bis zu drei Tagen. Wurde zu wenig von dem Extrakt (bezw. zu viel Ferment) zugesetzt, so verminderte sie sich natürlicherweise auf kürzere Zeit, z. B. einen Tag oder auch noch kürzer.

Liefs ich die Säfte bei 37° einige Zeit stehen (unter Toluol), so bildete sich in denselben eine Ausfällung, ebenso wie bei den Ascarisextrakten. Filtrierte ich von diesem Niederschlag ab, so erhielt ich ein klares gelbes Filtrat, welches ebenfalls die Antifermentwirkung gegen Pepsin und Trypsin besafs. Dabei zeigte sich in Übereinstimmung mit den Versuchen an Ascaris, dafs das zweite Extrakt wirksamer war als das erste.

Ferner fand ich, dafs vermehrter Zusatz von Soda (so dafs die Lösung 1 % Natriumcarbonat enthielt) den Fibrinschutz nicht störe (Dauer desselben z. B. über vier Tage). Ich werde bei Besprechung der Versuche mit dem Antiferment des Magens näher auf diesen Befund zurückkommen (s. S. 53).

Höhere Temperaturgrade übten eine Schädigung bezw. zerstörende Wirkung auf die im Filtrat enthaltenen Antifermente, ebenso wie ich dies bei dem Antiferment von Ascaris beobachtet hatte:

30 ccm des Filtrats 10′ auf 80° erhitzt, wiesen schon nach 2′ eine sehr reichlich werdende flockige Koagulation auf und zeigten bei nachträglichem Zusatz von Trypsin (nach dem Erkalten) keine erkennbare antifermentative Wirkung mehr. Ein zweiter Versuch wurde mit derselben Lösung in völlig gleicher Weise angestellt, dieselbe jedoch nur auf 60° erhitzt. Es kam zu einer Trübung der Lösung, doch war diese viel unbedeutender als im ersten Versuche. Die antitryptische Wirkung war in diesem Fall noch vorhanden (Fibrinschutz über zwei Tage), wenn auch etwas schwächer als bei der nicht erwärmten Lösung (Fibrinschutz desselben Filtrats unter denselben Bedingungen über vier Tage).

Der oben erwähnte Niederschlag wurde abfiltriert, mit Alkohol und Äther gewaschen und im Exsiccator getrocknet. Mit Wasser versetzt, löste sich derselbe nur mangelhaft. Er besafs nicht nur keine antifermentative (tryptischer Versuch) Wirkung, enthielt vielmehr selbst Trypsin, wie zwei Versuche lehrten, in denen derselbe (beim ersten und zweiten Extrakt), mit Wasser und Sodalösung versetzt, zugesetztes Fibrin im Verlaufe einer Nacht zur Lösung brachte.

Ich habe weiter versucht, die wirksamen Stoffe aus der Lösung zu isolieren. Ich verfuhr dabei ebenso wie bei den Ascarisextrakten, indem ich mit 1½ Volumina absoluten Alkohols, bezw. der entsprechenden Menge 96 proz. Alkohols, ausfällte.

Ich erhielt dabei eine starke Ausfällung »R II«, dieselbe wurde abfiltriert, mit Alkohol und Äther gewaschen und über Schwefelsäure getrocknet. Die weifslichen Lamellen lösten sich nur schlecht in Wasser. Ich konnte bei einem Versuch mit der ganzen Menge, die ich aus einem Extrakt erhalten hatte, kein Antitrypsin nachweisen (Lösung des Fibrins nach Zusatz von Trypsin in wenigen Stunden). Ebensowenig gelang es mir anderseits in einem zweiten in gleicher Weise gewonnenen »R II«, ein tryptisches Vermögen auf Fibrin nachzuweisen.

Das alkoholische klare Filtrat, welches ich von R II abfiltriert hatte, versetzte ich wiederum mit Alkohol

und erhielt dadurch eine weifsliche Trübung, welche sich allmählich absetzte. Ich filtrierte diesen Niederschlag »R III« ab, wusch ihn mit Alkohol von 96%, 100% und Äther, und trocknete ihn darauf über Schwefelsäure. Das so erhaltene weifse Pulver löste sich leicht in Wasser, schäumte dabei etwas und zeigte schwach alkalische Reaktion.

Ich erhielt einmal aus 48 ccm erstes Filtrat 0,11 g des Pulvers. Ein zweites Mal aus 80 ccm des zweiten Filtrats 0,68 g, also beträchtlich mehr.

0,20 g des Pulvers übten bei 1 cg Trypsin schon eine unzweifelhafte antitryptische Wirkung aus (Fibrinschutz über einen Tag).

Diese Versuche zeigen, dafs das Antitrypsin im Darm des höheren Tieres im wesentlichen dieselben Eigenschaften besitzt wie bei Ascaris. Es läfst sich auf dieselbe Weise im Extrakt gewinnen und aus demselben mit konzentriertem Alkohol ausfällen und trocknen. Es ist wie jenes gegen höhere Temperaturen empfindlich und verliert bei der Isolierung beträchtlich an seiner Wirksamkeit.

2. Versuche über das Antipepsin des Magens.

Es war nach den Befunden am Darm zu vermuten, dafs im Magen ähnliche Verhältnisse vorliegen möchten.

Hier stellte sich der Untersuchung eine Schwierigkeit entgegen. In dem ausgeprefsten Extrakt des Magens war ohne Zweifel neben dem eventuellen Antiferment das Ferment selbst, das Pepsin, zu erwarten und zwar in reichlicher Menge. Thatsächlich verdauten auch diese Extrakte (mit Salzsäure angesäuert), Fibrinflocken. Es zeigte sich jedoch schon hierbei eine gewisse Besonderheit. Das Fibrin, welches unter denselben Bedingungen, mit reinem Pepsin (Merck) und Salzsäure in gleicher Menge zusammengebracht, stark quillt, quoll in diesen Fällen nicht, kam auch nur relativ langsam (Dauer bis zu einem Tag) zur allmählichen Einschmelzung. Natürlich liefs sich aber hieraus nichts weiteres entnehmen.

Ich versuchte deshalb, ob es, entsprechend den Versuchen, die ich früher über Trennung von Antiferment und Ferment durch fraktionierte Alkoholfällung gemacht hatte, nicht möglich sei, Pepsin und Antiferment in dem Extrakt zu trennen.

Es gelang mir, durch Fällung mit $1\frac{1}{2}$ Volumina Alkohols einen reichlichen Niederschlag zu erhalten, welcher das Pepsin enthielt. Das mit diesem Pepsinpräparat und Salzsäure versetzte Fibrin kam unter Quellung, bei genügendem Zusatz des Präparates, in verhältnismäfsig kurzer Zeit zur Lösung, zeigte also dieselben Eigenschaften wie das gewöhnliche Pepsin.

Beispiel: Versuch I, I. Pressung, I. Niederschlag
(weifses Pulver) . 0,03 g
Wasser . . . . 10 ccm
Fibrin (vom Schwein)
HCL . . . . . 0,026 g

30. VI. 1902, $3\frac{1}{2}$ Uhr mit Toluol versetzt, quillt sogleich,
$4\frac{1}{2}$ » bis auf Reste gelöst,
6 » völlig gelöst.

Fällte ich im klaren etwas gelblichen Filtrat nochmals mit zwei Volumina Alkohol von 96%, so erhielt ich eine weifsliche Trübung, die sich im Verlauf von etwa 24 Stunden als feines weifses Pulver zu Boden setzte. (Nur wenn das Extrakt vor der Behandlung mit Alkohol einige Tage bei Zimmertemperatur gestanden hatte, erhielt ich einen etwas anderen Niederschlag. Derselbe war nunmehr klebrig, hatte aber seine Wirksamkeit nicht verloren. Vielleicht sind hier durch die Verdauungsfermente gebildete Peptone im Spiel[1]).

---

1) Die Extrakte reagierten schwach alkalisch. Man ist deshalb versucht, eine solche proteolytische Wirkung zu leugnen, ein Versuch mit Pepsin absol. von Merck zeigte mir jedoch, dafs dieses Präparat (0,02 g auf 15 ccm Wasser) Fibrin in alkalischer Lösung (0,05 g $Na_2CO_3 = 0,3\%$) unter Quellung in fünf bis sechs Tagen (bei 37°) zu lösen vermag. Ein Kontrollversuch mit Zusatz von Soda allein in genau gleicher Menge führte zwar ebenfalls zur Quellung, aber selbst nach einem Monat noch nicht zur Lösung des Fibrins. Auf die Frage, ob diese proteolytische Wirkung auf das Pepsin oder auf ein diesem beigemischtes »Pseudopepsin« (Glässner, Hofmeisters Beiträge 1901, Bd. 1 S. 26, Über die örtliche Verbreitung der Profermente in der Magen-

Ich filtrierte diesen Niederschlag ab, wusch und trocknete ihn und erhielt so ein feines weifses Pulver, das ich nunmehr bei meinen Versuchen verwendete.

Ich erhielt davon z. B. die folgenden Mengen:

in Versuch VI aus 437 g Mucosa in 201 ccm vom ersten Saft (211 ccm) . . . 0,38 g bezw. 0,40 g
und in 122 ccm Saft II . . . . 0,56 »
in Versuch VII aus 512 g Mucosa

in 220 ccm Saft 1		0,42 g
» 159 [illegible]		0,86 »
» 100 » » 3		0,75 »
» 40 [illegible] 4		0,41 »

Diese Beispiele zeigen, dafs das Antiferment in die späteren, unter Zusatz von Kochsalz (1%) und Dinatriumphosphat gemachten Extrakte in reichlicheren Mengen übergeht als in den ersten Saft. Es dürfte also in den Zellen nicht leicht ausspülbar angebracht sein.

Das Pulver löste sich leicht in Wasser, die Lösung schäumte beim Schütteln. Zunächst ergaben die Versuche, dafs dieses Pulver d i e h e m m e n d e S u b s t a n z e n t h i e l t. Ich gebe ein Beispiel eines Versuches:

1. VII. 1902 (Versuch 42):

5 ccm	Antipepsinlösung, enthaltend 0,10 g Substanz	
5 »	Wasser	
	Fibrin (vom Schwein)	
	Pepsin (absol. Merck)	0,01 g
	Salzsäure	0,02 »

9 h 5': Das Ganze reagiert stark sauer, Toluol zugesetzt, in 37° gebracht.

Das Fibrin ist am 16. VII. n o c h v ö l l i g u n g e q u o l l e n u n d u n g e l ö s t. Am 30. VII. noch e t w a e b e n s o.

schleimhaut) zu beziehen sei, das ebenso wie das von mir untersuchte peptische Ferment im Magen der Haifische (Zeitschr. f. Biol. 1900, Bd. 41 S. 275) aufser in saurer auch in schwach alkalischer Lösung wirksam sei, gehe ich hier nicht ein.

In allem Wesentlichen ähnlich verliefen die übrigen Versuche (7), die ich in dieser Weise mit den verschiedenen Rückständen anstellte, so z. B. war in Versuch VII der Rückstand von allen vier Pressungen antipeptisch wirksam in einer Dose von 0,15 g auf 0,012 g Pepsin. Auch eine Quellung des Fibrins habe ich in keinem der Versuche beobachtet, wohl aber in allen Kontrollversuchen ohne Antifermentzusatz, in welchem das Fibrin sich bei Zusatz von 0,01 g Pepsin bei sonst gleichen Mengen Wassers und Salzsäure stets innerhalb weniger Stunden oder noch schneller löste. Vermehrung des Pepsins verminderte die Dauer des Fibrinschutzes, wie ich dies auch bei meinen Versuchen mit dem Antiferment von Ascaris beobachtet hatte.

Es ergab sich weiter bei diesen Versuchen ein wichtiger Punkt: Setzte ich bedeutend mehr als die in den oben erwähnten Versuchen zugefügten 0,2 proz. Salzsäure zu, z. B. 0,6 proz. Salzsäure, so war die antipeptische Wirkung nicht mehr zu beobachten. Das Fibrin löste sich ohne deutliche Quellung auf.

So z. B. setzte ich in einem Parallelversuch des S. 50 angegebenen Versuches zur selben Antifermentlösung und unter Einhaltung völlig gleicher Bedingungen wie bei jenem Versuch statt 0,02 g Salzsäure 0,055 g Salzsäure. Am 1. VII. 3 h 5′ wurde Toluol zugesetzt und das Ganze in 37° gebracht. Das Fibrin wurde sogleich durchsichtig, begann um 5 h in Lösung zu gehen und war am andern Tag früh morgens völlig gelöst, während, wie oben erwähnt, der Kontrollversuch mit weniger Salzsäure wochenlang keine Fibrinlösung zeigte.

Noch charakteristischer ist vielleicht die folgende Versuchsreihe:

Von den vier Pressungen des VII. Versuchs waren, wie oben erwähnt wurde, vier Antifermentportionen erhalten worden.

Mit jeder derselben wurde in genau gleicher Weise der folgende Versuch angestellt:

Antiferment . . . . 0,15 g
Wasser . . . . 10 ccm

Fibrin (vom Schwein)
Pepsin (Merck) . . . 0,012 g
Salzsäure . . . . . 0,02 g
(Gesamtreaktion stark sauer)

am 17. VII. 2 h 50′ nach Zusatz von Toluol in 37° gebracht
» 19. » in allen vier Versuchen keine Quellung oder Lösung des Fibrins eingetreten.

Es war also kein Zweifel, daſs alle vier Niederschläge Antiferment enthielten. Es wurden nun drei von den vier Versuchen als Kontrollversuche benutzt und an ihnen nichts abgeändert. Beim vierten jedoch (aus der ersten Pressung) wurde am 19. VII. morgens 9¼ h weitere 0,02 g Salzsäure zugefügt.

Um 10½ h trübte sich die vorher klare Lösung um das Fibrin.

Um 12½ h war mehr als die Hälfte des Fibrins in Lösung gegangen, ohne daſs es zu einer eigentlichen Quellung gekommen war.

Um 3 h war sämtliches Fibrin dünnflüssig gelöst.

In den drei Kontrollversuchen waren noch am 23. VII. groſse, ungequollene Fibrinflocken in der sauren Lösung enthalten, jedoch etwas weniger als sich zu Beginn in den einzelnen Versuchen befunden hat.

Aus diesen Versuchen folgt einmal, daſs Zusatz von Salzsäure in reichlicher Menge 0,4—0,6%[1]) den Fibrinschutz durch das Antiferment aufhebt, unwirksam macht.

Weiter ergibt sich daraus, daſs das Pepsin nach zweitägigem Beisammensein mit dem Antiferment noch nicht zerstört ist, vielmehr, unter günstige Bedingungen gebracht, seine Wirkung noch voll entfalten kann.

Es war die nächste Frage, ob auch die antitryptische Wirkung des Antiferments durch einen reichlichen Sodazusatz aufgehoben wird.

---

1) Ein am 2. VII. 3½ h angesetzter Kontrollversuch, in welchem unter sonst gleichen Bedingungen nur Salzsäure 0,055 g (0,55%) ohne Pepsin zu Fibrin gesetzt wurde, ergab zwar sehr starke Quellung des Fibrins, dasselbe war aber noch am 16. VII. nicht gelöst, bildete vielmehr eine gequollene Masse, die erst gegen Ende dieses Monats allmählich in Lösung überging.

Versuch 48; Schwein; Dünndarm; II. Versuch, I. Pressung,
Filtrat vom I. Niederschlag . . . . . 15 ccm
Pankreasextrakt. . . . . 0,01 g
Fibrin (vom Schwein)
Soda . . . . 0,15 g (1% Na_2CO_3)
(Gesamtlösung stark alkalisch).

3. VII. 2 h 40': Toluol zugesetzt, in 37° gebracht. Das Fibrin quillt nicht, zeigt bis zum 6. VII. keine Veränderung, beginnt sich am 7. VII. langsam auszulösen und ist am 16. VII. bis auf Reste gelöst.

Aus diesem Versuche folgt, daſs vermehrter Sodazusatz auf das antitryptische Agens keine störende Wirkung hat, dasselbe wirkt ebensogut wie bei geringerem Sodazusatz. Die Eigentümlichkeit des antipeptischen Stoffes, auf vermehrten Zusatz der Säure seine Schutzwirkung zu verlieren, hat also in dem Verhalten des antitryptischen Stoffes kein Analogon.

Man könnte vielleicht bei dieser Erscheinung daran denken, daſs die Ausfällung mit Alkohol das Antiferment derart geschwächt habe, daſs es der Säure nicht mehr genügend widerstehen konnte, wie dies vor der Ausfällung der Fall gewesen sein würde. Ich möchte hierüber nichts Bestimmtes sagen. Es ist möglich, daſs hier noch ganz andere Momente ins Spiel kommen. Die Antifermentwirkung der betreffenden Präparate war immerhin recht kräftig. Ich werde unten bei der Zusammenfassung auf diesen Punkt in Bezug zur postmortalen Selbstverdauung des Magens zurückkommen.

Der Vollständigkeit halber erwähne ich noch, daſs ich zwei Versuche in Bezug auf das tryptische Verhalten des ausgepreſsten Magenextraktes angestellt habe. Einmal zeigte sich, daſs das Extrakt (IV, I. Pressung), mit Fibrin versetzt und mit Soda alkalisch gemacht (0,4%), in den ersten Tagen keine Veränderung hervorbrachte; am vierten Tage war das Fibrin etwas erweicht, am siebenten Tag etwa zur Hälfte gelöst.

In einem anderen Versuch wurden zum Magenschleimhautextrakt (III, I. Pressung) neben Fibrin Trypsin zugesetzt und mit Soda alkalisch gemacht; es löste sich am ersten Tage

nichts, am zweiten Tage begann die Lösung, die bald vollständig war.

Aus diesen Versuchen folgt einmal, dafs im Magenextrakt auch ein antitryptisch wirkender Stoff enthalten ist, und ferner, dafs derselbe ein Ferment enthält, welches trotz der Antifermente Fibrin allmählich bei alkalischer Reaktion zur Lösung zu bringen vermag (s. hierüber o. S. 49 Anm.).

Uber einige Ergebnisse der mitgeteilten Versuche.

Aus den mitgeteilten Versuchen geht einmal hervor, dafs im Magen und ebenso im Darm der Schutz der angreifbaren Stoffe gegen die proteolytischen Fermente durch Antifermente bewirkt wird, welche in den Zellen enthalten sind und an denselben ziemlich fest haften, da bei mehrmaligem Zerreiben und Auspressen die späteren Extrakte mehr Antiferment liefern als das erste Extrakt.

Nachdem ich (s. erste Mitteilung) in gleicher Weise wirkende Antifermente in parasitischen Würmern gefunden habe, wird man nicht fehlgehen, wenn man in analoger Weise gegenüber den proteolytischen Fermenten wirkende Stoffe bei sämtlichen tierischen Organismen annimmt, und auf sie den Schutz des eigenen Verdauungsapparates bezw. Gewebes gegen die in denselben zur Ausscheidung gelangenden proteolytischen Fermente zurückführt.

Auch bei den tierefressenden Pflanzen (z. B. Drosera, Dionaea etc.) wird es berechtigt sein, ähnliche Einrichtungen anzunehmen, die vielleicht überhaupt allen Organismen zukommen, jedenfalls allen, welche proteolytische Fermente enthalten, solange sie solche enthalten.

Hieran schliefst sich eine weitere Frage: Beim einzelnen Organismus (z. B. Protozoen) hat man dieses Antiferment im Innern der einen Zelle, die das Tier bildet, anzunehmen. Ist dasselbe beim höheren Tier ebenfalls in allen Geweben enthalten oder nur in den Wänden des Verdauungstraktus da, wo die Fermente besonders sich anhäufen?

Es liegen in dieser Beziehung einige Beobachtungen vor. Schnappauf[1]), der unter Nasse Untersuchungen über das Verhalten des Pepsins im Körper anstellte, beobachtete, dafs Leber und Muskelgewebe sowie defibriniertes Blut und Blutserum die Wirkung des Pepsins sehr beeinträchtigten bezw. dasselbe »zerstörten«. Gleichsinnige Angaben für das Blutserum liegen vor von Pugliese und Coggi[2]), welche dasselbe gegen Pepsin und Trypsin hemmend fanden. Das Nämliche beobachtete M. Hahn[3]) für Trypsin und Pepsin, sowie Camus und Gley[4]) betreffs des Pepsins allein. Ferner wies M. Matthes[5]) in diesem Jahre auf die wichtige Thatsache hin, dafs »lebende« rote Blutkörperchen durch Pankreastrypsin nicht gelöst werden.

Es dürfte nach meinen Befunden nichts der Annahme im Wege stehen, dafs diesen Beobachtungen ebenfalls die Wirkung eines Antifermentes zu grunde liegt, wenigstens bei den mit Trypsin angestellten Versuchen. Bei den Pepsinversuchen ist die Möglichkeit der Schädigung des Pepsins durch die alkalische Lösung an sich nicht ohne weiteres abzuweisen (vgl. Schnappauf a. a. O.).

Ich selbst habe mit dem Extrakt abzentrifugierter, gewaschener und zerriebener roter Blutkörperchen vom Schwein ebenfalls kräftige antipeptische und antitryptische Wirkung auf Fibrin erhalten. Da ich bei den Versuchen, in welchen ich Pepsin verwandte, sogleich ansäuerte, nicht die Extrakte erst einige Zeit mit dem Pepsin stehen liefs, so kann in diesen Fällen keine Wirkung des Alkalis auf das

---

1) Schnappauf, Beiträge für Physiologie des Pepsins. Inaug.-Diss. Rostock 1888.

2) Pugliese u. Coggi, Bullet. Science med. 1897 (cit. nach Maly, 1897, S. 832).

3) Hahn, Berl. klin. Wochenschr. 1897, No. 23 S. 499—501, Zur Kenntnis der Wirkungen des extravaskulären Blutes.

4) Camus u. Gley, Arch. de Physiol. 1897, S. 764.

5) Matthes, Experimenteller Beitrag zur Frage der Hämolyse. Münch. med. Wochenschr. 1902, S. 8.

Pepsin vorliegen, und letzteres etwa vor dem Zusammenbringen mit dem Fibrin durch das Alkali zerstört worden sein.[1])

Aus diesen Beobachtungen dürfte soviel mit Gewifsheit hervorgehen, dafs ein antiproteolytischer Stoff auch im Blut enthalten ist, und damit ist es nicht mehr zu bezweifeln, dafs er (mit dem Blut) im ganzen Körper verbreitet ist.

Anderseits ist in Geweben (aufser den Verdauungsapparaten) ein Gehalt an proteolytischen Fermenten gefunden worden.

So z. B. in dem Leberprefssaft (Hahn und Geret)[2]) und an anderen Orten. Ferner im Urin regelmäfsig (von Brücke, Grützner, Sahli, Gehrig u. a.). Besonders ist hier noch an die Wirkungen, die bei der Autodigestion der Organe auftreten, zu erinnern, welche ebenfalls auf proteolytische Fermente schliefsen lassen. Auch die Alexine des Blutes stehen nach H. Buchner[3]) den proteolytischen Fermenten nahe.

Ob jedoch an allen diesen Orten, die wohl leicht auf jedes Gewebe des Körpers (vielleicht mit Ausnahme des reinen Fettgewebes) auszudehnen wären, so wie in den fermentbildenden Drüsen des Magens und Darmes das proteolytische Ferment als solches oder in einer modifizierten Form enthalten ist, als ein »Zymogen«, welches unwirksam ist, ist z. Z. noch eine offene Frage, die von manchen Seiten, so z. B. von Duclaux verneint wird.[4]) Einerseits sind die Darstellungen der Profermente bis jetzt noch wenig befriedigend, anderseits ist das Vorhandensein einer Vorstufe der Fermente in den Geweben natürlich ganz unmöglich zu bezweifeln, denn diese müssen aus irgend einem Stoffe hervorgehen. Endlich ist durch den Nachweis der Antifermente in vielen Geweben dasjenige Hauptmoment für die Profermente hinfällig geworden, welches ihrer bedurfte, um zu erklären, weshalb die Organe durch die in ihnen enthaltenen Fermente nicht angegriffen werden.

---

1) Eine Darstellung des Schutzstoffes aus diesen Blutkörperchenlösungen ist mir bis jetzt nicht gelungen.

2) Hahn u. Geret, Ber. d. d. chem. Ges. 1898, S. 2335.

3) H. Buchner, Münch. med. Wochenschr. 1899, 39.

4) Duclaux, Traité de Mikrobiologie. T. II, 1898.

Wenn somit zur Zeit auch noch nicht sicher erwiesen ist, dafs die Fermente überall im Körper in wirksamer Form enthalten sind[1]), so ist doch diese Auffassung in hohem Mafse wahrscheinlich, und es ist daran zu denken, ob durch einen Antagonismus von proteolytischen und antiproteolytischen Stoffen die Zersetzungen der Eiweifsstoffe im Tierkörper ihre Regelung erfahren (abhängig von der Art der Ernährung und dem sonstigen Zustande des Organismus z. B. Wachstum, Winterschlaf etc.), so dafs das Verhältnis Ferment: Antiferment für den Körper im ganzen und für jeden einzelnen Teil desselben Bedeutung erlangte.

Da nach meinen Versuchen die Zellen der Magenschleimhaut sowohl Pepsin wie Antiferment enthalten müssen, entsteht die wichtige Frage, ob *in den sezernierten Magensaft neben dem Ferment auch das Antiferment ausgeschieden* werde. Es ist dies in Anbetracht der Aufgabe des Magensaftes nicht zu erwarten. Ich glaube zwei Beobachtungen hier anführen zu können, die diese Annahme stützen. Erstens sah ich nämlich, dafs die ersten Extrakte ärmer an Antiferment sind als die zweiten und dritten (s. o.). Dies widerspricht der Auffassung, dafs das Antiferment sich leicht von den Zellen trennen läfst. Zweitens beobachtete ich in einem *Kontrollversuche mit Magensaft vom Hund* vom Winter 1898/99 *Quellung des Fibrins* vor dessen allmählicher Lösung, während ich, wie oben bemerkt worden ist, in den Versuchen, in welchen der ausgeprefste, Ferment und Schutzstoff nebeneinander enthaltende Saft auf Fibrin einwirkte, keine Quellung beobachten konnte, sondern nur ein allmähliches Verschwinden des Fibrins. Ob aber nicht kleine Mengen des Antiferments auch in den Magen austreten, ohne die Funktion des Ferments wesentlich zu stören, möchte ich unentschieden lassen.

Ich habe noch einen weiteren Punkt zu besprechen. Es ist nach meinen Befunden anzunehmen, dafs unter normalen Verhältnissen *im gesunden Tier* die *Bewahrung der Magen-*

---

1) Es ist hiermit nicht gesagt, dafs nicht daneben in gröfseren oder kleineren Mengen Fermentvorstufen in den Geweben enthalten sein können.

und Darmschleimhaut vor den proteolytischen Fermenten durch die daselbst nachgewiesenen Antifermente geschieht.

Es läſst sich denken, daſs diese Antifermente ihrer Aufgabe nicht mehr genügen, etwa nicht mehr in genügender Menge vorhanden sind. Unter solchen Bedingungen ist zu erwarten, daſs die betreffende Stelle, wo dies statthat, nicht mehr fermentfest ist und zur Einschmelzung gelangt. Auf diesem Wege wäre die Entstehung von Ulcerationen verständlich, wie sie zum Beispiel nach Hautverbrennung im oberen Dünndarm nicht selten beobachtet werden.

Ein Ähnliches ist für den Magen zu erwarten. Hier liegen die Verhältnisse jedoch etwas anders. Während die antitryptische Wirkung durch Zunahme des Alkaligehaltes der Lösung, wie ein oben angegebener Versuch lehrte, nicht gestört wird, wird der antipeptische Stoff durch einen Gehalt an Salzsäure in der Lösung von über 0,2 % bezw. von 0,4 und mehr Prozent unwirksam gemacht. Es tritt also als mögliches ursächliches Moment für Zerstörungen der Schleimhaut ein zweites hinzu. Abgesehen von dem Mangel an Antiferment, kann es sich um die Wirkung eines Mangels an Alkali handeln.

Es ist nun für gewöhnlich nicht zu erwarten, daſs das stets von alkalischem Blut durchflossene Gewebe der Magenwand je auf einen Gehalt an Säure von über 0,2 % komme; unter ungewöhnlichen Bedingungen aber ist es wohl möglich, daſs ein Derartiges eintritt.

Ich erwähne als deutlichsten solchen Fall die Beobachtung, die John Hunter[1]) zuerst beschrieben hat, daſs sich der Magen besonders bei Individuen, die sich in voller Verdauung befanden und dabei eines plötzlichen Todes starben, sehr weitgehend selbst verdaut. In diesem Falle hat, nachdem die Zirkulation des alkalischen Blutes aufgehört hatte, der stark saure Magensaft genügt, um den Schutzstoff stellenweise unwirksam zu machen, das heiſst, die Zellen mit Säure von mehr als 0,2 % zu durchtränken, so daſs das Pepsin ungehindert seine zerstörende Wirkung

1) John Hunter, Philos. Transact. 1772, Vol. 62 p. 447.

entfalten kann; auch die reichliche Menge dieses Fermentes mag dabei von Bedeutung sein.

Die zweite Art von Lädierung der Magenwand, die ich zu erwähnen habe, tritt während des Lebens ein, ich meine das runde Magengeschwür. Dasselbe kann nach dem Mitgeteilten auf zwei Ursachen beruhen. Erstens auf einem ungenügenden Gehalt der Zellen an Antiferment. Zweitens auf mangelhafter Blutzirkulation, welche jedoch durchaus nicht bis zu einem Verschlufs von Blutgefäfsen zu gehen braucht (z. B. bei Chlorotischen, Anämischen,), oder endlich auch, was in Bezug auf die Wirkungsweise dasselbe bedeuten würde, auf Hyperacidität des Magensaftes, welche z. B. M. Matthes[1]) als ein Moment für die Chronicität von Magengeschwüren heranzieht.[2])

Inwieweit sich diese verschiedenen Momente jeweils kombinieren, müssen weitere Untersuchungen zeigen. Nach meinen Befunden ist der antipeptische Stoff durch seine begrenzte Säureresistenz dem antitryptischen gegenüber, der weniger leistungsfähige, und es scheint daher in diesem Zusammenhang verständlich, dafs das Pepsin, obgleich das weniger intensiv wirkende Ferment, doch reichlicher zur Schädigung seines Behälters führen kann als das Trypsin.

Es verdient weiter hervorgehoben zu werden, dafs durch die Gewinnung der von mir dargestellten Antifermente, welche den proteolytischen Fermenten des Körpers entsprechen, die Auffassung, dafs eine Verwandtschaft bestehe zwischen Toxinen und Fermenten speziell den proteolytischen Fermenten eine neue starke Stütze erhält. Wenn der Organismus »Gifte« bildet, gegen die er selbst geschützt sein mufs — und ich rechne hierunter sowohl das Pepsin wie das Trypsin —, so wahrt er sich dadurch, dafs er ein Antiferment ablagert, und durch dieses an

1) M. Matthes, Untersuch. über die Pathol. der Ulc. rot. ventric. Jena 1893.

2) Dafs für gewöhnlich der Säuregehalt in den meinen Beobachtungen über die Resistenz des Antiferments entsprechenden Grenzen sich hält, zeigt u. a. die Thatsache, dafs Lab in Lösung von 0,3 % Salzsäure bei 40° zerstört wird. Emmerling, Die Enzyme. Brühls Lehrb. d. org. Chemie Bd. 7 S. 414.

den Stellen, die geschützt werden müssen, die Wirkung des Fermentes sistiert.

Auf die Frage nach der Natur der schützenden Stoffe, die ich in den Preſssäften und aus denselben durch Fällung mit Alkohol erhalten habe, gehe ich hier nicht ein. Nach den Befunden von Grützner[1]), Lörcher[2]) u. a. kann man bei denselben ebensowohl an anorganische als an organische Stoffe denken; die principielle Frage, ob gegen die Fermente Schutzstoffe, Antifermente, im tierischen Gewebe enthalten sind, wird dadurch nicht berührt.

1) Grützner, Pflügers Archiv 1897, Bd. 66 S. 626.
2) Lörcher, ebenda 1898, Bd. 69 S. 157.

Die Aschenbestandteile des neugebornen Menschen und der Frauenmilch.

Von

Dr. **Söldner**, Grunbach (Württemberg).

Mit einer Einleitung von Medicinalrat Dr. **Camerer** und Schlufsbemerkungen von beiden Autoren.

I. Einleitung.

Bei jedem der sechs Körper, welche zu unserer Untersuchung über die chemische Zusammensetzung des Neugebornen gedient haben, sind Aschenanalysen ausgeführt worden und zwar bei Nr. 1 bis Nr. 5 von Dr. Söldner, bei Nr. 6 von Dr. Herzog. Man findet die Resultate dieser Arbeiten in der dritten Veröffentlichung von Dr. Camerer jun. zusammengestellt.[1]) Neue Aschenanalysen mit dem übrig gebliebenen Material vorzunehmen, schien aus mehrfachen Gründen wünschenswert. Da die zeitraubende Bestimmung der organischen Substanzen, die Elementaranalysen nunmehr wegfielen, konnte die Untersuchung auch auf weitere, früher nicht bearbeitete Aschenbestandteile ausgedehnt werden. Einer Nachprüfung bedurfte namentlich das Eisen. Wie schon in der eben erwähnten Publikation mitgeteilt ist, hatte sich gezeigt, dafs eine unserer Substanzen, das Pulver[2]), durch metallisches, von den gebrauchten Instrumenten herstammendes Eisen

---

1) Diese Zeitschrift Bd. 43 S. 5.

2) Wir erhielten bei unserer Art zu arbeiten die Fixa des Kindskörpers schliefslich in Form von drei Substanzen, nämlich von Alkoholextrakt, Ätherextrakt und der feingepulverten Restsubstanz, dem »Pulver«.

verunreinigt war, und es war diese Verunreinigung nur bei Nr. 5 und Nr. 6 vor der Analyse durch einen starken Magnet beseitigt worden. Aufserdem waren Söldner gegen die bisher (bei allen sechs Körpern) benutzte analytische Methode zur Bestimmung des Eisens Bedenken gekommen, worüber er selbst näher berichten wird.

Auf meinen Wunsch hat er auch an einigen weiteren Frauenmilchen die Aschenanalyse gemacht, da uns die bisherigen Kenntnisse auf diesem Gebiete recht ungenügend schienen. Herr Prof. Dr. Döderlein hatte die Güte, in der Frauenklinik zu Tübingen Milch sammeln zu lassen und wir sprechen ihm und den Herren, welche die Sammlung vornahmen, hier unseren besten Dank aus. Die erste Sendung aus der Klinik (Milch *a*) betrug 950 ccm, sie stammte von sechs Frauen vom 5. bis 9. Tage der Laktation; die zweite Sendung (Milch *b*) betrug 450 ccm, ebenfalls von sechs Frauen und vom 5. bis 9. Tage der Laktation herstammend. Frühmilch *c*, 420 ccm, wurde bei zwei Frauen am 5. und 6. Tage und am 6., 7. und 8. Tage der Laktation bei mir abgesaugt. Milch *d* ist Mischmilch von zwei Uracher Frauen, die Menge betrug bei dieser Sammlung im ganzen 1170 ccm, eine Frau hatte an einem Tage der 9. Woche p. part. dazu 175 ccm, die andere vom 18. bis 23. Tage p. part. zusammen 995 ccm geliefert. Von der Milch *d* habe ich selbst ca. 300 ccm abgesaugt, der Rest von *d*, sowie die ganze Milch *c* wurde mit meinem Apparat und nach meiner Anweisung teils von der Hebamme (*c*), teils von der Mutter (Rest *d*) abgesaugt. Sämtliche Milchen wurden sofort nach dem Absaugen mit Formaldehyd sterilisiert. Da das Brunnenwasser hier stark kalkhaltig ist, war es mir wichtig, dafs Apparate und Gefäfse vor dem Gebrauch mit dem gelieferten destillierten Wasser gut gereinigt wurden und habe ich namentlich im Falle *d*, bei der intelligenten und sehr gewissenhaften Mutter, nicht den mindesten Zweifel, dafs meine Vorschrift ganz pünktlich befolgt wurde. Wahrscheinlich ist mir dagegen, dafs die jeweils abgesaugte Brust nicht so vollständig entleert wurde, als es der Fall gewesen wäre, wenn ich selbst hätte absaugen können. Ob die Art des Sammelns auf

Menge und Mischung der Aschenbestandteile ähnlichen Einfluſs hat, wie es bezüglich organischer Milchbestandteile der Fall ist, scheint bisher nicht untersucht worden zu sein, ebenso weiſs man über einen etwaigen Einfluſs verschiedener Nahrung auf die Aschenbestandteile der Milch nur wenig. Bunge sah bekanntlich den Gehalt der Frauenmilch an NaO und Cl nach reichlicher Zufuhr von Kochsalz bei sonst gleicher Kostform nur unerheblich ansteigen. Der Gehalt unserer einzelnen Frauenmilchen (*a* bis *d*) an Aschenbestandteilen zeigt gröſsere Unterschiede als zu erwarten war in Anbetracht des Umstandes, daſs es sich durchaus um Mischmilch von verschiedenen Frauen handelte, wodurch ja individuelle Einflüsse hätten ausgeglichen werden sollen und es ist möglich, daſs ungleiche Art des Sammelns, vielleicht auch Unterschiede in der Kostform Schuld daran sind. Man wird bei künftigen Untersuchungen gut daran thun, jedenfalls der Art des Sammelns mehr Aufmerksamkeit zu schenken, als mir diesmal zu meinem Bedauern möglich war. Von dem Einfluſs der Laktationszeit auf Menge und Mischung der Aschebestandteile wird im Abschnitt II die Rede sein.

II. Analytische Methoden und Resultate der Analysen

von Dr. Söldner beschrieben.

Nachdem Camerer wahrgenommen hatte, daſs ein sehr starker Stahlmagnet[1]) aus allen sechs »Pulvern« feinste Eisenteilchen herauszog — sie waren beim Zermahlen der Restsubstanz von den scharf geriffeten Walzen der Mühle abgesplittert — handelte es sich zunächst darum, dies Eisen vollständig aus dem Pulver zu entfernen. Ich lieſs ca. 200 g der Fixa in einer Rinne aus dünnem Eisenblech so oft über die Pole des Magnets rieseln, bis auf den über den Polflächen liegenden Stellen der Rinne keine Teilchen mehr festgehalten wurden. Auſserdem aber wurde der Magnet unter Rühren direkt in das Pulver eingebracht, so

1) Derartige Magnete und aus solchen zusammengestellte Apparate werden in Urach gewerbsmäſsig hergestellt. Sie dienen in Getreidemühlen und beim Mahlen von Thomasschlacke dazu, zufällig in das Mahlgut geratene Eisenstückchen festzuhalten, um die wertvollen Mühlsteine vor Beschädigung zu schützen.

lange bis die Polflächen rein blieben. Die Magnetbehandlung nahm ziemlich viel Zeit in Anspruch und der Wassergehalt der Fixa erlitt unterdessen solche Veränderungen, dafs er nochmals festgestellt werden mufste. Das durch den Magnet entzogene Eisen wurde gesammelt und es betrug seine Menge auf 100 g Pulver:

Bei	Kind	1	=	8,1	mg
»	»	2	=	1,1	»
»	»	3	=	31,5	»
»	»	4	=	33,4	»
»	»	5	=	9,8	»
»	»	6	=	7,8	»

Die Menge des Pulvers hatte bei den einzelnen Kindern zwischen 422 g und 600 g betragen. Unter der Voraussetzung, dafs das beigemengte Eisen bei jedem Kind im Pulver gleichmäfsig verteilt gewesen sei, läfst sich berechnen, wieviel solches Eisen auf ein Kind und auch auf das »mittlere Kind« gekommen wäre. Es beträgt diese letztere Menge 107,4 mg Eisen = 153 mg Eisenoxyd. Das Gewicht des mittleren Kindes war 2821 g, sein durch Analyse gefundener Gehalt an Eisenoxyd 520 mg. Es wären also nach dieser Art der Berechnung gegen 30% des gefundenen Eisenoxyds der Verunreinigung zuzuschreiben und der wirkliche Gehalt des mittleren Körpers an Eisenoxyd wäre 520 — 153 = 367 mg. Bei der diesmaligen Untersuchung aber wurde der Gehalt des mittleren Kindskörpers an Fe_2O_3 sogar etwas höher gefunden als früher, nämlich zu 625 mg gegen 520 (siehe Tabelle I S. 69) wie hier vorgreifend bemerkt sein soll.

Wie schon früher[1]) beschrieben, wurden für die Aschenuntersuchung jedes einzelnen Kindes die drei Substanzen Alkoholextrakt, Ätherextrakt und Pulver ihrem Gewichtsverhältnis entsprechend in einer Platinschale zur Einäscherung abgewogen. Ich verfuhr auch jetzt in analoger Weise. Es wurde zuerst von den Substanzen, den Gewichtsverhältnissen bei jedem Kind entsprechend, je ein homogenes Gemisch hergestellt, also Alkoholextrakt, Ätherextrakt und Pulver des »mittleren Kindes« und

1) Diese Zeitschrift Bd. 39 S. 189.

davon die für letzteres berechneten Mengen in der Platinschale abgewogen, sodann diese Trockensubstanz des »mittleren Kindes« verascht.

Bei den zuvor mit dem Magnet behandelten Fixa war die Durchmischung leicht zu bewerkstelligen und nicht unschwer beim Ätherextrakt durch Zusammenschmelzen. Schwieriger gestaltete sich das Mischen beim Alkoholextrakt. Die zähe Masse war nur warm gründlich zu mischen, verlor aber dabei Wasser, so dafs nach der Mischung eine Wasserbestimmung nötig wurde, um die Gewichtsverhältnisse exakt einhalten zu können.

Zu jeder Veraschung wurden 40 g Trockensubstanz des mittleren Kindes, entsprechend 131,869 g seiner Körpersubstanz verwendet und mit der Flamme von oben bis zu völligen Verkohlung erhitzt, worauf die Kohle mit heifsem Wasser aufgenommen, filtriert und das ausgewaschene Filter samt Rückstand in der Platinschale für sich verascht wurde. Der Aschengehalt des Filters (Schleicher-Schüll Nr. 589 mit Salz- und Fluorwasserstoffsäure gereinigt, enthaltend 0,15 mg Asche) konnte vernachlässigt werden. Dem veraschten Filterrückstand wurde dann das Filtrat zugesetzt, eingedampft und schwach geglüht.

Die Asche hinterläfst beim Lösen in Salz- oder Salpetersäure stets einen unlöslichen braunen Rückstand, der auch im Gemenge beider Säuren sich nicht löst und als geglühtes Eisenoxyd sich nur mit saurem schwefelsaurem Kali aufschliefsen läfst. Von dieser Thatsache nimmt weder Hugounenq noch C. de Lange gelegentlich der Schilderung ihrer Aschenuntersuchungen Notiz.

Für die Alkalienbestimmung wurde die salzsaure Aschenlösung zur Trockene abgedampft, der Rückstand in Wasser unter Salzsäure-Zusatz bis zur klaren Lösung aufgenommen, in der Wärme mit Barythydrat versetzt, filtriert und das Filtrat nebst Waschwasser mit kohlensaurem Ammon und Ammoniak gefällt. Zur Entfernung der Ammonsalze wurde das Filtrat eingedampft und schwach geglüht, der Glührückstand mit Wasser aufgenommen, mit etwas Oxalsäure eingetrocknet und geglüht. Nach Lösung in wenig Wasser und Filtration, Trocknen und Glühen löste sich

der Rückstand in der Regel klar, wenn nicht, wurde die Behandlung wiederholt. Die Lösung wurde nach Zugabe eines Überschusses von Salzsäure zur Trockne eingedampft, schwach geglüht und die Chloralkalien gewogen. Das Kalium kam als PCl_6K_2 aus der Lösung der Chloralkalien zur Abscheidung. Das Platindoppelsalz wurde im Wasserstoffstrom erhitzt und das Platin nach Auswaschung von Chlorkalium und Salzsäure gewogen.

Phosphorsäure, Chlor- und Schwefelsäure wurden in der mit kohlensaurem Natron eingeäscherten Körpersubstanz bestimmt. Die Schwefelsäure konnte bei den früheren Analysen nicht berücksichtigt werden, da zur Veraschung Leuchtgas gedient hatte. Diesmal stand mir das schwefelfreie Gas aus einer Amberger Gasmaschine zur Verfügung. Von der auf 500 ccm gebrachten Lösung der Asche in verdünnter Salpetersäure wurden 100 ccm zur Chlor-, 200 ccm zur Schwefelsäure- und 100 ccm zur Phosphorsäurebestimmung verwendet. Chlor kam als Chlorsilber und Schwefelsäure als Baryumsulfat zur Ausscheidung und Wägung. Die Phosphorsäure wurde nach Überführung der Pyro- in Orthophosphorsäure mit molybdänsaurem Ammon als Magnesia-Ammonphosphat gefällt und als Magnesiapyrophosphat gewogen.

Kieselsäure und Eisen wurden aus der mit saurem Kalisulfat aufgeschlossenen Asche bestimmt. Die klare salzsaure, mit Salpetersäure oxydierte Lösung der Asche wurde eingetrocknet, wiederholt mit Salzsäure befeuchtet, wieder getrocknet, schliesslich der Rückstand auf 120° erhitzt und aus der sauren Lösung des Rückstandes die Kieselsäure abfiltriert.

Das Filtrat der Kieselsäure wurde durch Zugabe von essigsaurem Natron essigsauer gemacht und nach längerem Stehen das phosphorsaure Eisen abfiltriert. Dieses enthält stets Kalkphosphate. Hugounenq[1]) fand ca. 50% Verunreinigung in dem Eisenphosphat-Niederschlag. Ich habe schon einmal auf die Unzulässigkeit, das Eisenphosphat direkt zu wägen, aufmerksam gemacht und habe bei den früheren Untersuchungen die Phosphate in Salzsäure gelöst und in schwefelsaure Lösung übergeführt

1) Journal de Physiol. et de Pathol. générale 1899, S. 707.

und nach Reduktion mit Zn unter Luftabschlufs das Eisen titrimetrisch bestimmt. Nun hat vor kurzem Gintel[1]) die Schwierigkeiten[2]) der Reduktion kleiner Eisenmengen dadurch zu umgehen gesucht, dafs er mit Wasserstoff beladenes Palladium zur Reduktion benutzte. Ich hatte die Reduktion früher zwar mit reichlich Zink und Schwefelsäure ausgeführt, aber nicht 5 bis 6 Stunden gekocht, sondern nach Erwärmen zur Einleitung der Reduktion über Nacht stehen gelassen, weshalb ich Bedenken trage, die früher erhaltenen Eisenwerte als der Wahrheit entsprechend anzusehen. Palladium stand mir weder früher noch jetzt zu Gebot. Um allen Schwierigkeiten aus dem Wege zu gehen, die in der Reduktion des Eisenoxyds mit Zink liegen könnten, habe ich wie Hugounenq[3]) die Trennung des Eisens von Phosphorsäure und der vorhandenen Thonerde mit Schwefelammonium bei Gegenwart von weinsaurem Ammoniak vorgenommen, also den aus essigsaurer Lösung erhaltenen Niederschlag in Salzsäure gelöst, Weinsäure zugegeben, mit Ammoniak übersättigt und mit Schwefelammon gefällt. Nach zweitägigem Stehen in gut verschlossenem Gefäfs liefs sich das Schwefeleisen leicht filtrieren. Der Niederschlag wurde nun in Salzsäure gelöst, der Schwefelwasserstoff vertrieben, die Lösung abgedampft und nach Auflösung des Rückstandes mit einem Tropfen Salpetersäure die neue Lösung essigsauer gemacht, gekocht und das basisch essigsaure Eisen als Eisenoxyd gewogen.

Das Filtrat des Schwefelammon-Niederschlags wurde eingedampft, getrocknet und zur Zerstörung der Weinsäure und Abtreibung der Ammonsalze geglüht. Der Rückstand war in Salzsäure löslich. Die Lösung wurde essigsauer gemacht und unter Zugabe von etwas Natriumphosphat kochend das Thonerdephosphat gefällt.

Zur Bestimmung des Mangans, Kalks und der Magnesia wurde eine besondere Portion verascht und die oxydierte salzsaure

1) Zeitschr. f. angew. Chemie 1892, S. 424.

2) Er bezieht sich auf Arbeiten von Storch und Scheiding, nach welchen zur völligen Reduktion des Eisenoxyds relativ grofse Mengen von Zink und Schwefelsäure und 5—6 stündiges Kochen unter Luftabschlufs Bedingung ist.

3) a. a. O. S. 708.

Lösung essigsauer gemacht nach vorheriger annähernder Neutralisation mit Natriumkarbonat. Nachdem dann mit Eisenchlorid kochend alle Phosphorsäure ausgeschieden war, wurde aus dem mit den Waschwassern vereinigten Filtrat das Mangan mit Bromwasser als MnO_2 abgeschieden. Der Niederschlag wurde in Salzsäure gelöst, als Mangankarbonat gefällt und als Mn_3O_4 gewogen.

Aus dem Filtrat des MnO_2 wurde das Calcium als Calciumoxalat gefällt und dieses in CaO übergeführt.

Das Filtrat vom Kalkniederschlag nebst Waschwasser wurde konzentriert und in bekannter Weise daraus Magnesia als phosphorsaure Ammonmagnesia gefällt.

Die Kohlensäure wurde nach Fresenius-Will ermittelt.

Die Analyse der Aschen von Frauenmilch wurden in genau der gleichen Weise ausgeführt wie oben bei der Asche der Kinder beschrieben wurde. Aus Mangel an Material und Zeit war es mir jedoch nicht möglich, in allen Fällen die Kohlensäure zu ermitteln. Mangan konnte in allen Milchproben bestimmt nachgewiesen werden. Die Menge war aber so gering, dafs sie sich der quantitativen Bestimmung entzog.

Wenn man Substanzen verascht, die organisch gebundenen P und S und Cl enthalten, so entstehen bei ungenügend vorhandenen Basen saure Phosphate unter Verlust von P, S und Cl. Man vermeidet denselben, wenn man dem Teil der Substanz, der zur Bestimmung von P, S und Cl dient, vor der Veraschung Baryt oder Natriumkarbonat zusetzt. Da solcher Zusatz bei direkter Bestimmung der Gesamtasche unmöglich ist, mufs der Verlust hier eintreten und man findet die direkt bestimmte Gesamtasche etwas kleiner, als wenn man die Einzelbestandteile vollständig und richtig bestimmt und ihre Summe bildet. Es ist daher korrekter, die jeweils ermittelten Aschebestandteile auf 100 g Kindskörper oder 100 g Milch zu beziehen, als auf 100 g der direkt bestimmten und mit dem Defizit behafteten Gesamtasche. Doch habe ich letztere Art der Bestimmung meinen Tabellen beigefügt, denn sie ist allgemein üblich und durfte nicht fehlen, wollte ich meine Resultate mit denen anderer Forscher leicht vergleichbar machen.

Tabelle I.

Die Leibessubstanz des Durchschnittskindes mit 2821 g Gewicht enthält in Gramm:

	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	Fe_2O_3	Mn_3O_4	Al_2O_3	P_2O_5	Cl	SO_3	SiO_2	CO_2	Summe	ab O für Cl	Rest	Asche direkt bestimmt
Aus den Einzelanalysen der sechs Kinder nach früherer Berechnung[1])	5,39	6,46	28,6	0,78	0,52	—	—	28,8	4,98	—	—	—	75,53	1,14	74,40	74,70
Neue Werte direkt aus der gemischten Körpersubstz. d. Mittelkindes	5,29	5,75	28,6	1,07	0,625[2])	0,019	0,079	28,2	4,96	1,51	0,048	0,394	76,545	1,117	75,43	74,95

1) Diese Zeitschrift Bd. 43 S. 5.

2) Die Eisenbestimmung gab nach einer Analyse 0,6223 g, nach einer zweiten 0,6273 g, im Mittel also die obigen 0,625 g. Da den »Pulvern« diesmal vor der Analyse eine ansehnliche Menge Eisen durch den Magnet entzogen worden war, erwartete ich für die neuen Werte von F_2O_3 eine erheblich kleinere Zahl als oben für den Mittelwert zu berechnen war. Das Gegenteil ist eingetroffen; es scheint demnach der Fehler, der früher durch ungenügende Reduktion bei der Titrationsmethode gemacht wurde, sehr beträchtlich zu sein.

Tabelle II.

Aschenbestandteile des Kindskörpers.

	1 kg Körpergewicht enthält in Gramm					100 Teile Asche enthalten				
	Söldner	Hugounenq	Michel	C. de Lange	Giacoso	Söldner	Hugounenq	Michel	C. de Lange	Giacoso
K_2O	1,87	2,29	—	1,94	0,88	7,06	6,20	—	6,54	2,70
Na_2O	2,04	3,00	—	2,60	3,35	7,67	8,12	—	8,80	10,23
CaO	10,12	14,39	13,96	11,51	13,73	38,08	40,48	41,39	38,89	41,92
MgO	0,38	0,55	0,39	0,41	0,36	1,43	1,51	1,20	1,37	1,10
Al_2O_3	0,03	—	—	—	—	0,11	—	—	—	—
Fe_2O_3	0,22	0,15	—	0,50	0,61	0,83	0,39	—	1,69	1,89
Mn_3O_4	0,007	—	—	—	—	0,03	—	—	—	—
P_2O_5	10,01	12,54	12,82	11,13	12,25	37,66	35,28	38,02	37,61	37,65
SO_3	0,54	0,55	—	—	—	2,02	1,50	—	—	—
Cl	1,76	1,51	1,93	1,88	1,89	6,61	4,26	5,73	6,36	5,77
SiO_2	0,02	—	—	—	—	0,06	—	—	—	—
CO_2	0,14	—	—	—	—	0,53	1,89	—	—	—
Summe	27,14	—	—	—	—	102,09	99,63	—	101,26	101,26
Ab O für Cl	0,40	—	—	—	—	1,49	0,96	—	1,43	1,30
Rest	26,74	—	—	—	—	100,60	98,67	—	99,83	99,96

Zu dieser Tabelle (II) habe ich folgendes zu bemerken: Hugounenq und C. de Lange haben bei der Analyse des Eisens das in Säuren unlösliche Eisenoxyd der Asche nicht berücksichtigt, im übrigen hat der erstere nach einwandfreier Methode gearbeitet, Lange aber hat das Eisenphosphat direkt gewogen. Da dasselbe immer durch erhebliche Mengen von Kalkphosphat verunreinigt ist, hat Lange zu grofse Werte für Fe_2O_3 erhalten. Zur Bestimmung von Cl, P_2O_5, SO_3 hat Hogouneng die Veraschung nicht unter Zusatz von Natriumkarbonat vorgenommen, dürfte also zu kleine Werte erhalten haben.

Über die von Michel und Giacoso benutzten Versuchsmethoden ist mir nichts bekannt geworden, ich vermag deshalb über die Zuverlässigkeit der von ihnen veröffentlichten Zahlen kein Urteil abzugeben.

Die Ergebnisse der neuen Aschenuntersuchungen von Frauenmilch finden sich in folgender Tabelle III (S. 12) zusammengestellt, ich habe derselben bequemen Vergleichs halber meine früheren Aschenanalysen[1]) mit der Bezeichnung »alt« beigefügt.

(Siehe Tabelle auf S. 72.)

Berechnet man für Frauenmilch Mittelzahlen aus meinen sämtlichen Analysen, sowie gesondert für die Frühmilchen und Spätmilchen, so erhält man die folgenden Werte:

Tabelle IV.

	100 g Milch enthalten in mg			100 g Milchasche enthält in g		
	Frühmilch	Spätmilch	Mittelm.[2])	Frühmilch	Spätmilch	Mittelmilch
K_2O	100,8	63,4	88,4	32,5	31,9	32,4
Na_2O	44,8	17,6	35,7	14,5	8,9	13,1
CaO	37,6	38,1	37,8	12,1	19,2	13,9
MgO	5,4	5,2	5,3	1,7	2,6	1,9
Fe_2O_3	0,22	0,12	0,2	0,07	0,06	0,07
P_2O_5	32,1	28,8	31,0	10,4	14,5	11,4
SO_3	9,6	7,2	9,0	3,1	3,6	3,3
Cl	71,7	34,2	59,1	23,1	17,3	21,7
Summe	302,0	194,7	266,5	97,5	98,1	97,8
Ab O für Cl	16,1	7,7	13,3	5,2	3,9	4,9
Rest	285,9	187,0	253,2	92,3	94,2	93,9
Asche direkt	309,8	198,7	272,8	für CO_2 etc. 7,7	für CO_2 etc. 5,8	für CO_2 etc. 6,1

1) Diese Zeitschrift Bd. 39 S. 186 u. 188.

2) Aus den einzelnen Analysen direkt berechnet.

Tabelle III.

	100 g Frauenmilch enthalten in mg						100 g Asche enthalten in g					
	Frühmilch				Spätmilch		Frühmilch				Spätmilch	
	neu			alt	neu	alt	neu			alt	neu	alt
	Tübingen 5.—9. Tag *a*	Tübingen 5.—9. Tag *b*	Urach 5.—8. Tag *c*	Tübingen 7.—12. Tag	Urach 22. Tag bis 9. Woche	Urach 108. bis 110. Tag	*a*	*b*	*c*		*d*	
	mg	mg	mg	mg	mg	mg						
K_2O	100	87	137	79	68	59	34,6	25,9	39,1	30,1	31,1	32,8
Na_2O	28	67	47	36	17	18	9,8	19,9	13,6	13,7	7,9	10,1
CaO	40	42	33	35	41	35	13,8	12,6	9,4	13,5	18,9	19,4
MgO	5,2	7,7	6,8	5	4,4	6	1,8	1,4	1,9	1,7	2,0	3,5
Fe_2O_3	0,2	0,2	0,25	0,4 (?)	0,1	0,3 (?)	0,07	0,06	0,07	0,17(?)	0,05	0,15(?)
P_2O_5	33	28	33	33	32	26	11,6	8,4	9,6	12,7	14,5	14,4
SO_3	11	11	7	—	7	—	3,7	3,3	2,0	—	3,3	—
Cl	66	92	71	57	36	33	22,2	27,1	20,4	21,8	16,3	18,3
CO_2	14	—	—	—	—	—	5,0	—	—	—	—	—
Summe	297,4	334,9	335,0	245,4	205,5	177,3	102,6	98,7	96,1	93,7	94,0	98,6
Ab O für Cl	—	—	—	—	—	—	5,4	6,1	4,6	4,9	3,7	4,1
Rest	—	—	—	—	—	—	97,2	92,6	91,5	88,8	90,3	94,5
Asche direkt bestimmt	289,4	338,2	349,7	262	218,5	179	100	100	100	100	100	100
Differenz von Rest u. Asche direkt	—	—	—	—	—	—	2,8	7,4	8,5	11,2	9,7	5,5

Frauenmilch überhaupt enthält nach unserer bekannten früheren Untersuchung[1]) in den ersten Tagen der Laktation mit 0,3 g das Maximum an Gesamtasche und der Gehalt sinkt im Laufe der Laktation auf 0,18 g ab; die Untersuchungen anderer Forscher haben dasselbe Ergebnis geliefert. Aus Tabelle IV geht das unerwartete Resultat hervor, dafs im wesentlichen die Alkalien und das Chlor abnehmen, wogegen P_2O_5, CaO und MgO annähernd konstant bleiben, ebenso SO_3, das, wie bei P_2O_5 teilweise der Fall, ganz oder fast ganz durch Verbrennung organischer Substanz entsteht. Da die meisten anderen Forscher die leichter (aus Entbindungsanstalten) zu erhaltende Frühmilch auf Asche untersucht haben, blieb dieser Sachverhalt bisher unbemerkt. Wegen des Überwiegens der Frühmilchen kann auch aus der Litteratur nur wenig Material zur Bestätigung unseres Befundes beigezogen werden.

Bunge[2]) fand bei einer Frau am 10. Tage der Laktation in 100 g Milch 122 mg K_2O und 38 mg Na_2O. Am 15. und 18. Tag ermittelte er bei derselben zahlreiche Aschenbestandteile;

100 g Milch enthielten in mg:

	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	Fe_2O_3	P_2O_5	Cl
15. Tag	78	23	33	6	0,4	47	44
18. »	70	26	34	6	0,6	47	44

Bei einer anderen Frau am 111. Tag der Laktation fand er in 100 g Milch 71 mg K_2O, 11 mg Na_2O und 43 mg Cl. Also auch bei diesem allerdings spärlichen Material finden sich am 10. Tag der Laktation am meisten Alkalien, am wenigsten am 111. Tag.

C. de Lange[1]) fand in 100 g Frühmilch in mg:

K_2O	Na_2O	CaO	MgO	Fe_2O_3	P_2O_5	Cl
64	95	41	9	0,8	58	68

1) Diese Zeitschrift Bd. 36 S. 280 u. 281.

2) Diese Zeitschrift Bd. 10 S. 326.

3) Vergelykende Aschanalyses. Doctor-Dissert. Universität Amsterdam 1897, S. 77.

also ebenfalls reichlich Alkalien und Cl. Ganz ungewöhnlich ist, dafs hier mehr Na_2O gefunden wurde als K_2O, es ist dies meines Wissens von keinem anderen Forscher bisher beobachtet worden.

III. Schlufsbemerkungen.

Um die 24stündige Zufuhr an einzelnen Aschenbestandteilen zu berechnen, legen wir für den Beginn der zweiten Lebenswoche eine Zufuhr an Muttermilch von 500 g und für die zehnte Lebenswoche eine solche von 800 g und die Zahlen der Tabelle IV für Frühmilch und Spätmilch zu Grunde. Wir fügen den so berechneten Mittelzahlen die Befunde von Bendix bei, welche er an einem gesunden mit Muttermilch genährten Kinde von 4¾ Monaten im Mittel von sechs Versuchstagen erhalten hat. Die hier getrunkene Milchmenge war in der uns zu Gebote stehenden Publikation[1]) nicht zu ersehen.

Tabelle V.

Aschenbestandteile vom Muttermilchkinde in 24 Stunden, zugeführt in mg

		K_2O	Na_2O	CaO	MgO	Fe_2O_3	P_2O_5	SO_3	Cl
Camerer und Söldner	8. Lebenstag	504	224	188	27	1,1	160	48	358
	70. »	507	141	305	42	1,0	230	50	274
Bendix	140. »	476	34	272	47	14	203	99	203

In der Tabelle von Bendix stimmen die Angaben bezüglich des Na_2O (in Nahrung, Kot, Urin, Ansatz) unter sich nicht; die Werte von Fe_2O_3 und SO_3 dürften infolge analytischer Fehler so grofs geworden sein. Bei SO_3 kommt, wie oben bemerkt, die etwaige Benützung von Leuchtgas in Betracht.

Dafs in den ersten Lebensmonaten der Ansatz von Mineralstoffen ca. 50% der Zufuhr beträgt, scheint ziemlich sicher zu sein, weniger gut bekannt ist, in welchem Verhältnis die einzelnen Stoffe angesetzt werden. Es dürfte der Ansatz von CaO, MgO und P_2O_5 über, von den Alkalien und Cl unter 50% der Zufuhr betragen.

Bunge zieht bekanntlich aus der Zusammensetzung der Milch an organischen und namentlich an anorganischen Stoffen

1) Des Kindes Ernährung etc. von Czerny u. Keller, 2. Abt. S. 296.

weitgehende Schlüsse. Es soll die zunehmende Unfähigkeit der Frauen, zu stillen, ein wesentliches Moment für die Degeneration des Menschengeschlechts sein.[1]) Auch wir bestreiten selbstverständlich nicht, dafs die jeweilige Muttermilch bei weitem die beste Nahrung für das saugende Neugeborene ist. Indessen lehrt die Erfahrung, dafs nicht nur neugeborene Menschen und gröfsere Säugetiere, sondern auch kleine, wie Hunde, Katzen, Füchse, Marder, vollends Rehe mit Kuhmilch aufgezogen werden können und dabei gut gedeihen. Die bedeutende Morbidität und Mortalität künstlich ernährter Kinder in den ersten Lebensmonaten, welche die tägliche Erfahrung und die Statistik erkennen läfst, rührt zweifellos zum gröfsten Teil von der Verunreinigung der Kuhmilch durch Bakterien und ihre Stoffwechselprodukte und von der Unwissenheit und Unachtsamkeit der Pflegerinnen, sowie von dem Mangel an Zeit und an Hilfsmitteln in kinderreichen Familien und bei armen Leuten her, sie ist also in hohem Mafse von der sozialen Lage der Eltern des künstlich Ernährten abhängig. Ob und inwieweit die chemische Beschaffenheit der nicht verunreinigten künstlichen Nahrung z. B. der Kuhmilch mit Zusatz von Wasser, Milchzucker, Malzzucker und Dextrin, Rahmfett den Verdauungsorganen des gesunden Kindes Schwierigkeiten bereitet und dadurch eine Quelle von Ernährungsstörungen wird, ist bekanntlich keineswegs so sicher, und die Kinderärzte sind darüber im Streit. — Will man die physiologische Bedeutung der einzelnen Milchbestandteile richtig würdigen, so hat man eine Anzahl bisher meist übersehener Momente in Betracht zu ziehen. Zunächst ist zu beachten, dafs einige Milchbestandteile mit der eigentlichen Bestimmung der Flüssigkeit in keiner Beziehung stehen. So wird man den Gehalt der Milch an Harnstoff und noch an manchen anderen Stoffen (die aus dem Blut einfach in sie zu diffundieren scheinen) wohl eher als eine Verunreinigung derselben aufzufassen haben. Auch der stark wechselnde Gehalt der Milch an manchen Salzen findet möglicherweise seine Erklärung darin, dafs es sich bei der Milch-

1) Bunge, Die zunehmende Unfähigkeit der Frauen, ihre Kinder zu stillen. S. 14, 15, 30. München 1900, bei E. Reinhardt.

absonderung nicht ausschliefslich um Sekretion, sondern (wenn auch in sehr beschränktem Mafse) um Exkretion handelt. In einem losen Zusammenhang mit dem physiologischen Zwecke der Milch mögen andere Stoffe stehen, die für die Ernährung keine selbständige und direkte Bedeutung haben, aber bei der Produktion der wichtigen Milchbestandteile und der für solche notwendigen Arbeit der Drüsenzellen mitgeliefert werden müssen; oder es mag dieser Gesichtspunkt für das quantitative Verhältnis mancher Stoffe in Betracht kommen. Die Bestimmung der Milch ist es, sowohl den bestehenden Körper zu erhalten — worin sie der Nahrung des Erwachsenen vollkommen gleich ist — als auch die Stoffe für den Anwuchs zu liefern. Wenn man den letzteren Teil der Aufgabe allein oder wenigstens in erster Linie ins Auge fafst und mit Bunge den Gehalt der jeweiligen Milch an Eiweifs und Aschenbestandteilen im wesentlichen von diesem Gesichtspunkt aus zu beurteilen geneigt ist, darf man nicht vergessen, dafs der Mensch in den letzten Wochen des Embryonallebens die Stoffe für den Anwuchs aus dem, der Milch an Zusammensetzung so unähnlichen mütterlichen Blut bezieht und dafs beim Menschen der Anwuchs nach Gröfse und Beschaffenheit in den letzten Wochen des Embryonallebens wohl kaum viel anders ist als in den ersten Wochen nach der Geburt. Endlich ist zu bedenken, dafs der Anwuchs beim Menschen in der Zeit der stärksten absoluten und relativen Entwicklung an Menge täglich nur etwa 1 % des vorhandenen Körpergewichtes beträgt, was an sich schon dagegen spricht, dafs bei ihm die Wachstumsvorgänge von ausschlaggebender Bedeutung für Nahrung und Stoffwechsel des Säuglings sind. Dem entspricht denn auch dafs beim Säugling in den ersten Monaten von 100 g Trockensubstanz zugeführter Nahrung nur ca. 8 g im Körper zurückbleiben, 92 g aber ausgeschieden werden und zwar 7 g durch Urin und Kot, gegen 85 g durch Respiration und Perspiration, die letzteren also in Form der Oxyde CO_2 und H_2O. Von der zugeführten N-haltigen Substanz bleiben beim menschlichen Säugling allerdings ca. 40 %, von Aschebestandteilen sogar, wie oben angeführt, gegen 50 % zurück. Bei kleineren Tieren ist das

Wachstum viel rascher als beim Menschen. Bunge gibt a. a. O. an, der Hund verdopple sein Geburtsgewicht in neun Tagen, der Mensch in 180 Tagen und der Unterschied bleibt enorm, auch wenn man letztere Zahl auf 140 reduziert, den Befunden neuerer Statistik gemäfs. Der tägliche Anwuchs des Hundes würde demnach reichlich 10% des vorhandenen Körpergewichts betragen, gegen 1% beim Menschen. Aber nach den Befunden von Voit-Rubner hat das kleinere Säugetier auch ein sehr viel gröfseres Energiebedürfnis oder einen sehr viel intensiveren Stoffwechsel als das grofse, auf 1 kg Körpersubstanz berechnet, und man kann daraus, dafs der relative Anwuchs beim Hund so viel gröfser ist als beim Menschen, nicht ohne weiteres schliefsen, dafs beim ersten von der zugeführten Trockensubstanz und ihren Einzelbestandteilen entsprechend mehr angesetzt werde. Um zu ermitteln, wie viel von der Zufuhr angesetzt, wie viel zersetzt wird, bedarf es vielmehr bei jeder Tierspecies eigener Versuche. Beim Kalb, einem rasch wachsenden Tier mit grofsem Körpergewicht, fand am 16. bis 23. Lebenstag Soxhlet[1]) bekanntlich folgende Werte: Mittelgewicht 50 kg, täglicher Anwuchs 925 g, also fast 2% des Körpergewichts. Von 100 g zugeführter organischer Trockensubstanz gelangten 36 g zum Ansatz, von 100 Eiweifs 68, von 100 Fett 62. Beim Säugling in den ersten Wochen sind die entsprechenden Zahlen: Ansatz von organischer Trockensubstanz 7%, von Eiweifs 40%, von Fett 12%.

Wir wollen den Anschauungen Bunges eine gewisse Berechtigung nicht absprechen, nachdem er aber so weitgehende Folgerungen gezogen und dieselben doch wohl etwas vorzeitig durch Vorträge und Presse popularisiert hat, wie aus der oben erwähnten Schrift erhellt, schien uns eine Mahnung zur Vorsicht in Beurteilung dieser Fragen nicht überflüssig.

1) Erster Bericht über Arbeiten bei der k. k. landwirtsch.-chemischen Versuchsstation in Wien. Wien 1878.

Über synthetisch dargestellte einfache und gemischte Glycerinester fetter Säuren.

Von

Ferdinand Guth aus Heide in Holstein.

(Aus dem hygienischen Institut zu Rostock.)

Durch die Untersuchungen von Chevreul ist die chemische Konstitution der Fette zuerst aufgeklärt worden. Dieser Forscher, welcher die Resultate seiner umfangreichen Arbeiten im Jahre 1823 in seinem Werke »Recherches chimiques sur les corps gras d'origine animal« veröffentlichte, erkannte die Fette als Glyceride der Fettsäuren, hauptsächlich der Stearin-, Palmitin- (von ihm Margarinsäure genannt) und Ölsäure. Zahlreiche Chemiker haben später Chevreuls Angaben bestätigt und erweitert und nachgewiesen, dafs auch die pflanzlichen Fette Gemische von Glycerinestern fester und flüssiger Fettsäuren sind.

Diese Glycerinester hat man allgemein als einfache Triglyceride angesehen, teils weil man glaubte, dafs es gelungen sei, durch Umkristallisieren natürlicher Fette aus verschiedenen Lösungsmitteln solche zu isolieren, teils weil Berthelot mit Erfolg die synthetische Darstellung derselben versucht hatte.

Ob auch primäre oder sekundäre Glycerinester (Mono- und Diglyceride) in natürlichen Fetten nachgewiesen wurden, habe ich nicht ermitteln können. Hansen[1]) gibt an, dafs man in einigen Pflanzenfetten bekanntlich auch Diglyceride gefunden habe, doch ist es mir nicht möglich gewesen, Litteraturangaben,

1) »Über das Vorkommen gemischter Fettsäure-Glyceride im tierischen Fette«. Archiv für Hygiene, Bd. 42 S. 1 ff.

die diese Behauptung Hansens rechtfertigen, aufzufinden. Mit synthetisch dargestellten Mono- und Diglyceriden hat uns Berthelot bekannt gemacht.

An die Gegenwart gemischter Triglyceride in natürlichen Fetten hat man allgemein jedenfalls nicht geglaubt, wenn man auch die Möglichkeit deren Existenz zugeben mufste, nachdem 1889 Blyth und Robertson[1]) aus der Butter ein kristallinisches Triglycerid von der Formel:

$$C_3H_5 \begin{cases} C_4H_7O_2 \\ C_{16}H_{31}O_2 \\ C_{18}H_{33}O_2 \end{cases}$$

Oleopalmitobutyrat, abgeschieden hatten, in welchem drei verschiedene Fettsäuren mit dem Glycerin verbunden waren. Schon vor Blyth und Robertson hatte übrigens Bell[2]) ausgesprochen, dafs die Butter wahrscheinlich gemischte Ester des Glycerins enthalte.

1896 hat R. Heise[3]) behauptet, dafs das Mkanifett, das Samenfett des ostafrikanischen Talgbaumes Stearodendron Stuhlmanni in der Hauptsache aus Oleodistearin bestehe. Die von Heise angegebenen Gründe für diese Behauptung sind von Lewkowitsch in Zweifel gezogen worden, jedoch haben Henriques und Kühne[4]) den Beweis erbracht, dafs das genannte Fett im wesentlichen in der That ein Oleodistearin ist.

Holde und Stange[5]) haben aus dem Olivenöl in ätherischer Lösung durch Abkühlen auf —45° einen gemischten Ester isoliert; die Untersuchungen darüber sind noch nicht abgeschlossen.

Schon vor der Veröffentlichung der letztgenannten Chemiker hatte W. Hansen auf Veranlassung von Prof. Pfeiffer im Hygienischen Institut zu Rostock Versuche angestellt, aus tierischen Fetten gemischte Glyceride zu isolieren, und es ist ihm

1) Chemiker-Zeitung 1884, 13, 128.

2) Benedict, Analyse der Fette und Wachsarten III. Auflage, herausgegeben von Ferd. Ulzer, Berlin 1897, Springer.

3) Arbeiten aus dem Kaiserlichen Gesundheitsamt 1896, 540.

4) Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft, Jahrg. 32, Bd. 1, S. 387.

5) Chem. Centralblatt 1901, Bd. 2, S. 492.

auch gelungen, durch fortgesetztes Umkristallisieren von Hammel- und Rindertalg zweifellos solche zu erhalten. Nach den Mitteilungen Hansens[1]) enthält der Hammel- und Rindertalg: Distearopalmitin, Dipalmitostearin, Dipalmitooleïn und Stearopalmitooleïn.

Künstlich sind gemischte Triglyceride der höheren Fettsäuren bisher nicht gewonnen worden; jedoch hat Fritsch[2]) im hiesigen chemischen Universitätsinstitut gemischte Triglyceride aromatischer Säuren dargestellt.

Jedenfalls müssen aber nach den Befunden von Blyth und Robertson, Heise, Henriques und Kühne, Holde und Stange und Hansen die bisherigen Angaben in den Lehr- und Handbüchern dahin korrigiert werden, dafs die tierischen und pflanzlichen Fette nicht nur Mischungen von Tristearin, Tripalmitin, Trioleïn u. s. w. sind, sondern, dafs in denselben auch gemischte Triglyceride vorkommen. Ja, vielleicht ist es notwendig in Zukunft zu erklären, dafs die Neutralfette überhaupt nur aus gemischten Triglyceriden oder aus Mischungen solcher bestehen.

Dafür spricht auch die Beobachtung von Heintz[3]), dafs es nicht möglich war, selbst durch 32 maliges Umkristallisieren von Hammeltalg reines Tristearin aus demselben zu isolieren.

Auch Hansen gelang es nicht, aus Hammel- und Rindertalg reines Tristearin und Tripalmitin durch einfaches Umkristallisieren aus Äther und Alkohol zu erhalten. Erst bei Anwendung eines höher siedenden Lösungsmittels (Amylalkohol) wurden Tristearin und Tripalmitin erhalten, so dafs die Vermutung nahe liegt, dafs diese Körper erst durch Umlagerung der gemischten Triglyceride in einfache Triglyceride der in Frage kommenden Fettsäuren entstanden sind.

Die weiter von Hansen ausgesprochene Vermutung, dafs diese Umlagerung die Ursache des sog. doppelten Schmelzpunktes

1) a. a. O.

2) Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft, 24. Jahrg., Bd. 1 S. 726.

3) Journ. für praktische Chemie, Bd. 57, S. 385.

bei Tristearin und Tripalmitin sei, mufs ich allerdings jetzt schon als irrtümlich bezeichnen, da sich herausgestellt hat, dafs dieser doppelte Schmelzpunkt unter Umständen allen synthetisch dargestellten gemischten und einfachen Triglyceriden der Stearin- und Palmitinsäure eigentümlich ist, also nicht auf Umlagerung allein beruhen kann. Ich werde für diese Erscheinung später eine einfache Erklärung zu geben in der Lage sein.

Gerade diese Vermutung aber hatte Prof. Pfeiffer seiner Zeit veranlafst, die Untersuchungen Hansens anzuregen. Nachdem sich nun im Verlauf derselben ergeben hatte, dafs die aus natürlichen Fetten isolierten einfachen und gemischten Glyceride nur einen Schmelzpunkt besafsen, erwuchs das Bedürfnis, dieses Ergebnis mit Hilfe synthetisch dargestellter Glyceride zu kontrollieren. Ich habe mich dieser Aufgabe unterzogen und versucht, gemischte Glyceride der Fettsäuren darzustellen, was mir, wie die folgenden Mitteilungen darthun werden, auch teilweise gelungen ist. Teils für die Synthese derselben, teils mit Rücksicht auf die Frage nach der Natur des doppelten Schmelzpunktes war es aber auch erforderlich, die von Berthelot zum Teil schon untersuchten Mono- und Diglyceride, sowie die einfachen Triglyceride darzustellen. Aufserdem habe ich sodann noch einige gemischte Glyceride von Fettsäuren und Benzoësäure dargestellt.

Experimenteller Teil.

Die einfachen Glycerinester einbasischer organischer Säuren sind zuerst von Berthelot[1]) durch Erhitzen von Glycerin und Fettsäuren im Einschmelzrohr synthetisch dargestellt worden.

Auf diese Weise erhielt er die Mono-, Di- und Triglyceride der Stearin-, Margarin-[2]), Palmitin-, Arachin-, Oleïn-, Sebacin-, Valerian-, Butter-, Essig- und Benzoësäure.

---

1) Berthelot, Chimie organique fondée sur la synthèse. Paris, 1860.

2) Nach den Untersuchungen von Heintz (Ber. 1852, 518) ist die im Hammelfett aufgefundene, als Margarinsäure bezeichnete Substanz ein Gemisch von Stearin- und Palmitinsäure. Berthelot hat eine aus Menschenfett dargestellte Margarinsäure benutzt.

Die Methoden, die Berthelot im einzelnen anwandte, werde ich später bei den Angaben über die Darstellung und Eigenschaften der verschiedenen Glyceride noch kurz angeben.

Die Berthelotschen Versuche sind später von Hundeshagen, Chittenden und Smith, Scheij u. a. wiederholt worden.

Zur Gewinnung sog. aromatischer Fette ist Fritsch[1]) von dem Benzodichlorhydrin ausgegangen, auf welches er Natriumsalze aromatischer Säuren einwirken liefs.

Ich habe die Darstellung einfacher und gemischter Triglyceride auf verschiedenem Wege versucht, durch Erhitzen von Mono- oder Diglyceriden mit Fettsäuren und durch Einwirkung von Natriumsalzen auf Tribromhydrin, auf Acetodichlorhydrin und auf Benzodichlorhydrin. Von der Stearin-, Palmitin-, Oleïn- und Buttersäure wurden, wie schon einleitend bemerkt, auch die Mono- und Diglyceride dargestellt, und zwar gewann ich sie durch Einwirkung der Natriumsalze der betreffenden Säuren auf α-Monochlorhydrin resp. auf α-Dichlorhydrin oder β-Dibromhydrin. Vorausgesetzt, dafs keine Umlagerung beim Erhitzen stattfindet, ist man nach dieser Darstellungsweise auch über die Konstitution des Körpers, ob es sich um eine α- oder β-Verbindung handelt, orientiert. Auf die Darstellung der β-Monoglyceride wurde verzichtet, da es nicht mit Sicherheit erwiesen zu sein scheint, ob das aus Glycerin und Chlorwasserstoff darstellbare, im luftverdünnten Raum unter 18 mm bei 146° siedende Produkt wirklich eine Verbindung von der Formel des β-Monochlorhydrins repräsentiert.

Um die Körper auf ihre Reinheit zu prüfen, bestimmte ich die Verseifungszahlen. Etwa ein Gramm Substanz wurde je nach der Verseifbarkeit mit 50 ccm einer 3—5 proz. alkoholischen Kalilauge auf dem siedenden Wasserbade erhitzt, die überschüssige Kalilauge mit $^1/_2$ Normalsalzsäure zurücktitriert und aus den erhaltenen Zahlen berechnet, wie viele mg Kaliumhydroxyd zur Verseifung von einem Gramm Substanz erforderlich sind. Von jeder Verbindung wurde diese Zahl verschiedene Male bestimmt und dann das Mittel genommen. Die durch einen Überschufs

1) a. a. O.

von Mineralsäure abgeschiedene freie Fettsäure wurde durch den Schmelzpunkt identifiziert. Durch diese Prüfungsmethode erhält man in diesem Falle mindestens ebenso genaue Resultate als durch die Elementaranalyse, welche bei dem hohen Molekulargewicht der in Betracht kommenden Verbindungen geringe Verunreinigungen schwer erkennen läfst. Nur in den Fällen, wo die durch Verseifung abgeschiedene Säure flüssig war und bei den gemischten Glyceriden, wo mehrere Säuren nebeneinander vorhanden sind, wurden auch Elementaranalysen gemacht.

Aufserdem wurden die Refraktometerzahlen der Körper bestimmt, um zu sehen, ob dieselben eine gewisse Gesetzmäfsigkeit erkennen liefsen.

Die genaueren Angaben über die vorgenommenen Versuche seien im folgenden aufgeführt.

Die Glyceride der Stearinsäure.[1])

α-Monostearin.[2])

$$\begin{array}{l} CH_2OCOC_{17}H_{35} \\ | \\ CHOH \\ | \\ CH_2OH. \end{array}$$

1) Die Stearinsäure stellte ich aus Hammeltalg dar; durch zehn bis fünfzehnmaliges Umkristallieren aus Äther erhielt ich ein unreines, in Blättchen kristallisierendes Tristearin vom Schmelzpunkt 59°. Dieses wurde durch Kalilauge verseift, die freie Fettsäure durch verdünnte Schwefelsäure abgeschieden und aus Alkohol umkristallisiert bis zum konstanten Schmelzpunkt. Schneller noch kommt man zum Ziel durch einmalige Destillation im luftverdünnten Raum. Die erhaltene Stearinsäure hatte den Schmelzpunkt 69,2°. Verseifungszahl gefunden: 198, berechnet: 197; Refraktometerzahl 11,3 bei 75°.

2) Berthelot (Bd. II, S. 65) erhielt das Monostearin durch Erhitzen gleicher Teile Stearinsäure und Glycerin auf 200° während 36 Stunden im Einschmelzrohr. Die überschüssige Säure wurde durch Erhitzen mit Äther und gelöschtem Kalk entfernt. Der Körper krystallisierte in kleinen Nadeln vom Schmelzpunkt 61°.

Hundeshagen (Journ. f. pr. Chemie (2) B. 28, S. 225) gewann Monostearin, indem er 1 Teil Stearinsäure mit 2 bis $2^1/_2$ Teilen wasserfreiem Glycerin 40 bis 46 Stunden auf 200 bis 220° erhitzte. Das Reaktionsprodukt wurde mit Wasser gewaschen und aus Alkohol und Äther umkristallisiert. Die Verbindung bildete kleine Nadeln, die bei 61 bis 62° schmolzen.

Aquivalente Mengen von α-Monochlorhydrin[1]) und feinpulverisiertem Natriumstearat[2]) wurden innig gemischt und im Paraffinbade bei einer Temperatur von etwa 110° vier Stunden unter häufigem Umschütteln im Rundkolben erhitzt; letzterer wurde mit einem Stopfen, in dessen Durchbohrung ein Chlorcalciumrohr eingesetzt war, verschlossen. Die Masse verflüssigte sich bald und das ausgeschiedene Chlornatrium sammelte sich am Boden des Gefäfses. Das dunkel gefärbte Reaktionsprodukt wurde zur Entfernung des Chlornatriums mit Äther auf dem Wasserbade erhitzt unter Anwendung von Tierkohle, die Lösung des Monostearins abfiltriert, der Äther abdestilliert und der Rückstand im Trockenschranke bei 80—90° filtriert. Durch Umkristallisieren aus Methylalkohol erhielt ich den Körper in grofsen atlasglänzenden Tafeln vom Schmelzpunkt 73°.

Verseifungszahl gefunden: 155, berechnet: 156.

Refraktometerzahl 28,8 bei 75°.

Das α-Monostearin war, wie auch die folgenden Stearine, von reinweifser Farbe, geruch- und geschmacklos, in alkoholischer Lösung von neutraler Reaktion, sehr schwer löslich in kaltem Alkohol, leichter in Äther und Ligroïn; in siedendem Zustande nahmen diese Lösungsmittel reichliche Mengen auf. Genauere Untersuchungen über die Löslichkeitsverhältnisse wurden nicht vorgenommen.

---

1) Zur Darstellung bediente ich mich der von Hanriot angegebenen Methode (Journ. f. pr. Chemie (2) Bd. 18, S. 207): Wasserfreies Glycerin wurde bei einer Temperatur von 100° mit Chlorwasserstoffgas gesättigt, im Autoclaven erhitzt und durch Destillation unter vermindertem Druck gereinigt. Der Siedepunkt lag unter 15 mm bei 136 bis 138°. 0,2042 Substanz lieferten 0,2621 AgCl, entsprechend 31,63 °/₀ Cl, berechnet: 31,82 °/₀ Cl.

2) Die Natriumsalze der Stearin-, Palmitin- und Ölsäure wurden dargestellt, indem ich in die Lösung der Säuren in Alkohol frisch bereitetes Natriumalkoholat in berechneter Menge eintrug und auf dem Wasserbade einige Zeit erhitzte. Das stearin- und palmitinsaure Natrium wurde durch kräftiges Auspressen von der Hauptmenge des Alkohols befreit, dann wurden die Seifen, welche die letzten Reste Wasser hartnäckig zurückhalten, zunächst im Trockenschrank und schliefslich im Fraktionierkolben unter vermindertem Druck bei 110 bis 120° getrocknet. Aus der Lösung des ölsauren Salzes wurde der Alkohol durch Destillation im luftverdünnten Raum entfernt.

Durch wässerige Kalilauge wurde das Monostearin, wie auch die übrigen von mir dargestellten Glycerinester, nur sehr schwer angegriffen, durch alkoholische dagegen wurden sie alle leicht verseift. Bei der Destillation des Monostearins unter 12 mm trat bei etwa 260° eine starke Gas- und Dampfentwicklung ein. Das Destillationsprodukt bildete eine weiche, zum Teil wasserhelle Masse, aus der sich allerdings durch Kristallisation kleine Mengen Monostearin wiedergewinnen liefsen. Auch Di- und Tristearin, sowie die Palmitine und Öleïne waren nicht ohne Zersetzung destillierbar.[1]) Vielleicht ist es möglich, diese Körper im Vakuum der Baboschen Wasserquecksilberluftpumpe unzersetzt zu destillieren, eine solche stand jedoch nicht zur Verfügung.

α-Distearin.[2])

$$\begin{array}{l} CH_2OCO\,C_{17}H_{35} \\ | \\ CHOH \\ | \\ CH_2OCO\,C_{17}H_{35}. \end{array}$$

1) Nach Berthelot (Bd. II, S. 66, 69, 75, 80, 82) sind Mono- und Tristearin, Monopalmitin, Mono- und Trioleïn im Vakuum in kleinen Mengen und mit grofser Vorsicht unzersetzt destillierbar. Genauere Angaben über Druck und Temperatur sind nicht gemacht. Ebenso sollen auch natürliches Tristearin und Trioleïn im Vakuum ohne Zersetzung destillieren.

2) Berthelot (Bd. II, S. 67) gewann das Distearin:

a) Durch Erhitzen von einem Teil Monostearin mit 3 Teilen Stearinsäure auf 260° während 3 Stunden.

b) Durch Erhitzen von natürlichem Stearin mit einem Überschufs von Glycerin auf 200° während 22 Stunden.

c) Durch Erhitzen gleicher Teile Glycerin und Stearinsäure auf 160° während 114 Stunden.

d) Durch Erhitzen gleicher Teile Glycerin und Stearinsäure auf 275° während 7 Stunden. Der Körper kristallisierte in Blättchen oder Nädelchen vom Sch.-P. 58°.

Hundeshagen (Journ. f. pr. Chemie (2) Bd. 28, S. 227) erhielt Distearin durch Erhitzen äquivalenter Mengen Monostearin und Stearinsäure in einer Retorte auf 180 bis 200°, bis 1 Molekül Wasser übergegangen war. Das Reaktionsprodukt wurde mit der 50 bis 60fachen Menge Alkohol erhitzt, abgeprefst, in Ligroïn gelöst, mit Kaliumhydroxyd geschüttelt und umkristallisiert. Es wurden Nadelbüschel erhalten vom Sch.-P. 76,5°. In der Mutterlauge fand sich ein Körper, dessen Sch.-P. bedeutend tiefer lag und der nach der Ansicht von Hundeshagen vielleicht mit der von Berthelot gefundenen Verbindung identisch ist.

Zur Darstellung wurde α-Dichlorhydrin[1]) mit etwas mehr als zwei Molekülen Natriumstearat sechs bis acht Stunden im Einschmelzrohr auf 140—150° erhitzt. Das erhaltene Produkt wurde in derselben Weise wie Monostearin, durch Behandlung mit Tierkohle in ätherischer Lösung, Abdestillieren des Äthers, Filtration und Umkristallisieren gereinigt. Aus Ligroïn kristallisierte das α-Distearin in rhombischen Blättchen vom Schmelzpunkt 72,5.

Verseifungszahl gefunden: 180, berechnet: 179.

Refraktometerzahl 25,3 bei 75°.

β-Distearin.

$$\begin{array}{l} CH_2OCO\,C_{17}H_{35} \\ | \\ CHOCO\,C_{17}H_{35} \\ \\ CH_2OH. \end{array}$$

Der Körper wurde aus β-Dibromhydrin[2]) und stearinsaurem Natrium nach demselben Verfahren wie die α-Verbindung gewonnen. Durch Umkristallisieren aus Ligroïn erhielt ich prismatische Tafeln vom Schmelzpunkt 74,5.

Verseifungszahl gefunden: 181, berechnet: 179.

Refraktometerzahl 25 bei 75°.

Tristearin.[3])

$$\begin{array}{l} CH_2OCO\,C_{17}H_{35} \\ | \\ CHOCO\,C_{17}H_{35} \\ | \\ CH_2OCO\,C_{17}H_{35}. \end{array}$$

---

1) Dichlorhydrin wurde käuflich bezogen. Der Siedepunkt lag bei 176°. 0,1873 Substanz ergaben: 0,4162 AgCl, entspr. 54,78% Cl, berechnet: 54,69% Cl.

2) β-Dibromhydrin wurde aus Allylalkohol und Brom gewonnen (Beilstein III. Aufl., Bd. I, S. 245). Der Siedepunkt lag bei 106° unter 13 mm, bei gewöhnlichem Druck destillierte es bei 213 bis 214° unter schwacher Braunfärbung. 0,1705 Substanz ergaben 0,2939 AgBr, entspr. 73,43% Br., berechnet: 73,27% Br.

3) Berthelot (Bd. II, S. 68) erhielt das Tristearin durch dreistündiges Erhitzen von einem Teil Monostearin mit 15 bis 20 Teilen Stearinsäure auf 270°. Der Schmelzpunkt lag bei 71°.

Scheij (Chem. Centralbl. 1899, Bd. II, S. 20) stellte den Körper dar durch Erhitzen von Glycerin und überschüssiger Stearinsäure im Fraktionier-

Diese Verbindung wurde nach zwei verschiedenen Methoden dargestellt.

I. Ein Molekül Tribromhydrin[1]) wurde mit mehr als drei Molekülen stearinsaurem Natrium etwa zehn Stunden auf 170 bis 180° C. erhitzt und das gebildete Tristearin in bekannter Weise gereinigt.

II. Gleiche Gewichtsteile α - Distearin und Stearinsäure wurden unter stark vermindertem Druck im Fraktionierkolben auf 200—220° erhitzt, durch die Kapillare liefs ich einen ziemlich kräftigen, durch Schwefelsäure getrockneten Luftstrom streichen, um das gebildete Wasser möglichst schnell zu entfernen. Als sich an den Wandungen der Vorlage kein Wasser mehr kondensierte, setzte ich das Erhitzen etwa noch eine Stunde fort und unterbrach dann die Operation. Zur Entfernung der freien Stearinsäure kann man das Produkt mit Kalkhydrat und Äther behandeln; mehrfaches Umkristallisieren aus Alkohol, welcher die Stearinsäure ungleich viel leichter löst als das Tristearin, führt ebenfalls zum Ziel. Die stark braun gefärbte Masse wurde durch Kochen mit Tierkohle in ätherischer Lösung entfärbt.

Die erhaltenen Körper zeigten übereinstimmende Eigenschaften. Aus Äther kristallisierten beide in prismatischen Säulchen.

Der Schmelzpunkt lag bei 71—71,5°.

Verseifungszahl gefunden: I. 190, II. 188, berechnet: 189.

Refraktometerzahl: I. 23, II. 24 bei 75°.

---

kolben unter vermindertem Druck. Er erhielt einen Körper vom Schmelzpunkt 71,6°.

Heintz gewann Tristearin nach der von Berthelot angegebenen Methode. Es zeigte die Schmelzpunkte 55° und 71,6°. Von Heintz wurde festgestellt, dafs durch Umkristallisieren von tierischem Fett chemisch reines Tristearin nicht zu erhalten ist, dasselbe sagt auch Berthelot.

Bouis und Pimentel geben an, aus dem Samenfett von Brindonia indica ein Tristearin erhalten zu haben, welches vorübergehend bei 55°, dauernd bei 71,5° schmolz.

1) Tribromhydrin wurde käuflich bezogen. Der Siedepunkt lag bei 219 bis 220°. 0,2074 Substanz ergaben: 0,4145 AgBr entspr. 85,19% Br, berechnet: 85,37% Br.

Die Glyceride der Palmitinsäure.[1])

Die Palmitine wurden aus palmitinsaurem Natrium und den betreffenden Halogenhydrinen in ganz derselben Weise wie die Stearine dargestellt. Sie zeigten in alkoholischer Lösung neutrale Reaktionen, waren von rein weifser Farbe, geruch- und geschmacklos.

α-Monopalmitin.[2])

$$\begin{array}{l} CH_2\,OCO\,C_{15}\,H_{31} \\ | \\ CH\,OH \\ | \\ CH_2\,OH. \end{array}$$

Aus Methylalkohol kristallisierte der Körper in grofsen atlasglänzenden Tafeln vom Schmelzpunkt 65°.

Verseifungszahl gefunden: 170, berechnet 170.

Refraktometerzahl 25,3 bei 75°.

α-Dipalmitin.[3])

$$\begin{array}{l} CH_2\,OCO\,C_{15}\,H_{31} \\ | \\ CH\,OH \\ | \\ CH_2\,OCO\,C_{15}\,H_{31}. \end{array}$$

---

1) Die Palmitinsäure wurde käuflich bezogen und hatte nach nochmaligem Umkristallisieren den Schmelzpunkt 62°.

Verseifungszahl, gefunden 219 entspr. der Theorie, Refraktometerzahl 10,3 bei 75°.

2) Berthelot (Bd. II, S. 75) gewann Monopalmitin durch 24stündiges Erhitzen eines Gemisches von Glycerin und Palmitinsäure auf 200°. Es krystallisierte in mikroskopischen Prismen oder Nadeln, die bei 58° schmolzen.

Chittenden und Smith (Beilstein III. Aufl., Bd. I, S. 444) erhitzten Palmitinsäure und entwässertes Glycerin 18 Stunden auf 180 bis 200°. Das Produkt wurde mit Wasser gewaschen, mit Äther behandelt, letzterer verdunstet und der Rückstand aus Alkohol umkristallisiert. Zuerst kristallisierte Tripalmitin, zuletzt Monopalmitin, letzteres in Tafeln vom Schmelzpunkt 63°.

3) Berthelot (Bd. II, S. 76) stellte Dipalmitin dar durch 114stündiges Erhitzen eines Gemenges von Glycerin und Palmitinsäure. Es kristallisierte in mikroskopischen Blättchen und Nadeln. Schmelzpunkt 59°.

Chittenden und Smith (a. a. O.) erhielten den Körper ebenfalls durch Erhitzen von Palmitinsäure und Glycerin. Er kristallisierte in langen Nadeln, die bei 61° schmolzen.

Die Verbindung kristallisierte aus Ligroïn in büschelig vereinigten Nadeln. Der Schmelzpunkt lag bei 69°.

Verseifungszahl gefunden: 199, berechnet 197.

Refraktometerzahl 23,8 bei 75°.

β-Dipalmitin.

$$
\begin{array}{l}
CH_2\,OCO\,C_{15}\,H_{31} \\
| \\
CH\,OCO\,C_{15}\,H_{31} \\
| \\
CH_2\,OH.
\end{array}
$$

Aus Ligroïn erhielt ich die Verbindung kristallinisch in glänzenden Blättchen. Der Schmelzpunkt lag bei 67°.

Verseifungszahl gefunden: 198, berechnet 197.

Refraktometerzahl 21,8 bei 75°.

Tripalmitin.[1])

$$
\begin{array}{l}
CH_2\,OCO\,C_{15}\,H_{31} \\
| \\
CH\,OCO\,C_{15}\,H_{31} \\
| \\
CH_2\,OCO\,C_{15}\,H_{31}.
\end{array}
$$

Tripalmitin wurde wie Tristearin nach zwei Methoden dargestellt, aus Tribromhydrin und Natriumpalmitat und aus Dipalmitin und Palmitinsäure. Die erhaltenen Verbindungen zeigten durchaus übereinstimmende Eigenschaften. Aus Äther kristallisierten beide in Nadeln vom Schmelzpunkt 65,5°.

Verseifungszahl gefunden: 207 und 208, berechnet: 209.

Refraktometerzahl: 23 bei 75°.

---

1) Berthelot (Bd. II, S. 86) erhielt Tripalmitin durch achtstündiges Erhitzen von Monopalmitin mit der 8 bis 10fachen Menge Palmitinsäure auf 250°. Der Schmelzpunkt lag bei 61°.

Chittenden und Smith (a. a. O.) erhielten ein Tripalmitin, welches undeutliche Krystalle bildete und bei 62° schmolz.

Das von Scheij (a. a. O.) dargestellte Produkt zeigte den Schmelzpunkt 65,1°.

Das von Masqueline (Journ. f. pr. Chemie (2), Bd. 65, S. 291) aus den Früchten von Stillingia sebifera gewonnene Tripalmitin schmolz vorübergehend bei 50,5°, dauernd bei 66,5°, nach öfterem Schmelzen und Erstarrenlassen bereits bei 49°.

Die Glyceride der Ölsäure.[1])

α-Monooleïn.[2])

$$\begin{array}{l} CH_2\,OCO\,C_{17}\,H_{33} \\ | \\ CH.OH \\ | \\ CH_2\,OH. \end{array}$$

Zur Darstellung wurde ein Molekül α-Monochlorhydrin mit mehr als einem Molekül Natriummoleat in einem mit Kohlensäure gefüllten Einschmelzrohr vier Stunden auf etwa 140° erhitzt, das Reaktionsprodukt mit Äther und Tierkohle behandelt, die ätherische Lösung abfiltriert, der Äther bis auf eine kleine Menge im Kohlensäurestrom verjagt und die zurückbleibende Lösung in Eiswasser abgekühlt, um noch vorhandenes Natriumoleat, welches in heiſsem Äther in geringer Menge löslich ist, abzuscheiden. Nach dem Filtrieren wurde die zurückbleibende ätherische Oleïnlösung zunächst im Kohlensäurestrom erwärmt und die letzten Spuren des Äthers schlieſslich durch Erwärmen im luftverdünnten Raum entfernt.

Ich erhielt ein gelbliches, im Geruch und Geschmack schwach an Ölsäure erinnerndes Öl, dessen alkoholische Lösung neutral reagierte, und welches gegen 0° zu einer weiſsen Masse erstarrte. Nach mehrtägigem Stehen erstarrte das Monooleïn, welches in einem mit Kohlensäure gefüllten Gefäſs aufbewahrt war, schon bei Zimmertemperatur zu einer weichen, durchscheinenden Masse mit eingelagerten, weiſsen Körnern. Nach einmaligem Schmelzen bildete es wieder ein klares, gegen 0° festwerdendes Öl, welches

1) Die angewandte Ölsäure hatte einen Siedepunkt von 231 bis 232° unter 14 mm, Refraktometerzahl 44,2 bei 40°.

2) Berthelot (Bd. II, S. 79) gewann Monooleïn durch Erhitzen von Ölsäure mit Glycerin im Überschuſs während 114 Stunden auf 200° in einem mit Kohlensäure gefüllten zugeschmolzenen Rohr. Das Glycerin wurde durch Waschen mit Wasser, die Ölsäure durch Äther und Kalkhydrat beseitigt, das Produkt durch Tierkohle entfärbt, filtriert und der Äther im Kohlensäurestrom verdampft. Das Monooleïn bildete ein gelbliches, geruchloses und fast geschmackloses Öl, welches zwischen 15 und 20° zu einer weichen mit kristallinischen Körnern gemischten Masse erstarrte. Bei raschem Abkühlen auf 0° wurde es fest und schmolz dann schon unter 10°, nach längerem Stehen bei dieser Temperatur kristallisierte es wieder und gewann seinen normalen Schmelzpunkt zurück.

nach einigen Tagen wiederum erstarrte. Beim Erhitzen im luftverdünnten Raum trat Zersetzung ein. Das Thermometer stieg über 300° bei 15 mm Luftdruck, und es destillierte ein gelbliches Öl von stechendem Geruch und stark saurer Reaktion.

Verseifungszahl gefunden: 159, berechnet: 157.

Jodzahl gefunden: 70,1, berechnet 70,8.

Refraktometerzahl 60,1 bei 40°.

α-Dioleïn.[1])

$$\begin{array}{l} CH_2\,OCO\,C_{17}\,H_{33} \\ | \\ CH\,OH \\ | \\ CH_2\,OCO\,C_{17}\,H_{33}. \end{array}$$

Ein Molekül α-Dichlorhydrin wurde mit etwas mehr als zwei Molekülen Natriumoleat sechs bis acht Stunden in einem mit Kohlensäure gefüllten Einschmelzrohr auf 140—150° erhitzt und das Produkt wie Monooleïn gereinigt. Das erhaltene Öl war in seinen physikalischen Eigenschaften von der Monoverbindung kaum zu unterscheiden. Es erstarrte ebenfalls gegen 0° zu einer weifsen Masse, nach einigen Tagen verwandelte es sich wie das Monooleïn schon bei gewöhnlicher Temperatur zu einer durchscheinenden, mit weifsen Körnern vermischten Substanz, welche nach dem Schmelzen und Abkühlen nun erst wieder bei 0° fest wurde.

Verseifungszahl gefunden: 183, berechnet: 180.

Jodzahl gefunden: 80,4, berechnet: 81,3.

Refraktometerzahl 58,8 bei 40°.

β-Dioleïn.

$$\begin{array}{l} CH_2\,OCO\,C_{17}\,H_{33} \\ | \\ CH\,OCO\,C_{17}\,H_{33} \\ | \\ CH\,OH. \end{array}$$

---

1) Dioleïn wurde von Berthelot (Bd. II, S. 81) dargestellt.

a) Durch Erhitzen von Monooleïn mit der 5 bis 6fachen Menge seines Gewichtes Ölsäure auf 250° während einiger Stunden.

b) Durch Erhitzen von natürlichem Oleïn mit Glycerin auf 200° während 22 Stunden. Der Körper war flüssig, von neutraler Reaktion und begann zwischen 10 und 15° zu kristallisieren.

Die Verbindung wurde aus β-Dibromhydrin und ölsaurem Natrium wie das α-Dioleïn gewonnen, bildete ein in Farbe, Geruch und Geschmack demselben vollkommen ähnliches Öl, welches gegen 0° ebenfalls fest wurde, bei gewöhnlicher Temperatur blieb es jedoch flüssig, auch nach wochenlangem Stehen.

Verseifungszahl gefunden: 182, berechnet: 180.

Jodzahl gefunden: 80,5, berechnet 81,3.

Refraktometerzahl 56,3 bei 40°.

Trioleïn.[1])

$$\begin{array}{l} CH_2\,OCO\,C_{17}H_{33} \\ | \\ CH\,OCO\,C_{17}H_{33} \\ | \\ CH_2\,OCO\,C_{17}H_{33}. \end{array}$$

Zur Darstellung wurde Tribromhydrin mit Natriumoleat im Überschufs etwa 10 Stunden in einem mit Kohlensäure gefüllten Einschmelzrohr auf 180° erhitzt und das Reaktionsprodukt in bekannter Weise gereinigt. Ich erhielt ein nahezu farb- und geschmackloses Öl, welches bei —4° bis —5° erstarrte. Nach einigen Wochen erstarrte das Trioleïn schon bei gewöhnlicher Temperatur zu einer undurchsichtigen Masse, zeigte nach dem Verflüssigen wieder den ersten Erstarrungspunkt, um dann später wieder bei gewöhnlicher Temperatur fest zu werden.

Verseifungszahl gefunden: 189, berechnet: 190.

Jodzahl gefunden: 85,1, berechnet: 85,5.

Refraktometerzahl 56,5 bei 40°.

Im luftverdünnten Raum erhitzt, destillierte unter einem Druck von 18 mm bei 235—240° ein Öl, welches schwach sauer reagierte. Die Verseifungszahl betrug 194, die Jodzahl 84,3, als Refraktometerzahl wurde 43,7 bei 40° ermittelt. Der Körper war also nicht ganz ohne Zersetzung übergegangen.

---

1) Berthelot (Bd. II, S. 81) erhielt Trioleïn nach folgendem Verfahren: Gleiche Gewichtsmengen Glycerin und Ölsäure wurden zunächst auf 200° erhitzt, das Reaktionsprodukt wiederum mit der 15 bis 20fachen Menge Ölsäure gemischt und vier Stunden auf 240° erhitzt. Nach der Behandlung mit Tierkohle und Kalkhydrat wurde Trioleïn durch Alkohol aus der ätherischen Lösung gefällt. Es war neutral und blieb flüssig bis 10° und darunter.

Die Glyceride der Buttersäure.

Mono- und Dibutyrin wurden aus buttersaurem Natrium und den betreffenden Halogenhydrinen nach denselben Verfahren wie die Stearine gewonnen; die Reaktion geht jedoch schneller vor sich, man braucht nicht so lange zu erhitzen. Zur Entfernung des abgeschiedenen Chlornatriums wurde das Reaktionsprodukt mit Äther aufgenommen, die Lösung filtriert und der Äther abdestilliert. Tributyrin erhielt ich aus Dibutyrin und Buttersäure.

Die Butyrine waren sämtlich unter gewöhnlichem Druck unzersetzt destillierbar, sie bildeten ölige, vollkommen farblose Flüssigkeiten von schwach buttersäureartigem Geruch und intensiv bitterem Geschmack. Mit Wasser bildeten sie eine nur kurze Zeit haltbare Emulsion und waren darin nicht merklich löslich, mit Alkohol und Äther liefsen sie sich in jedem Verhältnis mischen. Frisch destilliert reagierten die Butyrine neutral, nach dem Stehen an der Luft nahmen sie bald saure Reaktion und eine gelbliche Färbung an.

Mono- und Dibutyrin wurden von Acetylchlorid bei kräftigem Schütteln schon in der Kälte angegriffen.

Beim Abkühlen auf — 20° wurden die Butyrine schon bedeutend dickflüssiger, nach kurzem Stehen in einem Gemisch von Äther und fester Kohlensäure bildeten sie eine unbewegliche aber klare Masse.

α-Monobutyrin.[1])

$CH_2\,OCO\,C_3\,H_7$
|
$CHOH$
|
$CH_2\,OH.$

1) Berthelot (Bd. II, S. 90) erhielt Monobutyrin durch dreistündiges Erhitzen von Buttersäure mit Glycerin im Überschusse auf 200°. Das Gemisch wurde mit Pottasche und wenig Kaliumhydroxyd entsäuert, mit Äther aufgenommen, mit Tierkohle entfärbt, filtriert, der Äther verdampft und der Rückstand im Vakuum destilliert (nähere Angaben fehlen auch hier). Monobutyrin bildete eine neutrale ölige Flüssigkeit von aromatischem und bitterem Geschmack. Auf — 40° abgekühlt, blieb das Öl fast ebenso beweglich als bei gewöhnlicher Temperatur. Von den übrigen Butyrinen unterschied sich die Monoverbindung durch ihr Verhalten beim Mischen mit Wasser. 8 Volumen

Elementaranalyse.

0,1840 Substanz ergaben bei der Verbrennung mit Kupferoxyd . . . . 0,3488 CO_2
0,1458 H_2O.

Gefunden:	Berechnet:
C 51,70%	51,85%
H 8,80 »	8,64 »
O 39,50 »	39,51 »
100,00%	100,00%

Verseifungszahl gefunden: 343, berechnet: 346.
Refraktometerzahl 26 bei 40°.
Siedepunkt unter gew. Druck 269—271°.
Siedepunkt unter 16 mm 160—163°.

α-Dibutyrin.[1])

$CH_2\,OCO\,C_3H_7$
$|$
$CH\,OH$
$|$
$CH_2\,OCO\,C_3H_7$.

Elementaranalyse.

Aus 0,2045 Substanz wurden bei der Verbrennung erhalten
0,4253 CO_2
0,1619 H_2O

Monobutyrin bildeten mit 1, 2 und 3 Volumen Wasser eine klare Mischung; nach Zusatz von 5 und mehr Volumen eine längere Zeit haltbare Emulsion.

1) Dibutyrin wurde von Berthelot (Bd. II, S. 92) auf verschiedene Weise dargestellt.

a) Durch Erhitzen von Glycerin und Buttersäure auf 275° während 15 Stunden.

b) Durch Erhitzen von 1 Teil Glycerin mit 4 Teilen Buttersäure auf 260° während 3 Stunden.

Das Dibutyrin bildete eine neutrale ölige Flüssigkeit, mischbar mit Alkohol und Äther; bei der Destillation unter gewöhnlichem Drucke verflüchtigte es sich gegen 320° ohne merkliche Zersetzung, wenn die Destillation nicht bis zum Ende fortgesetzt wurde. Auf — 40° abgekühlt, blieb es flüssig, aber die Beweglichkeit nahm ab. Mit einem gleichen Volumen Wasser bildete es eine klare Mischung, durch weiteren Zusatz wurde Dibutyrin gefällt.

Gefunden:	Berechnet:
C 56,72 %	56,90 %
H 8,80 »	8,62 »
O 34,48 »	34,48 »
100,00 %.	100,00 %.

Verseifungszahl gefunden: 485, berechnet 483.
Refraktometerzahl 14 bei 40°.
Siedepunkt unter gew. Druck 279—282°.
Siedepunkt unter 19 mm 173—176°.

β-Dibutyrin.

$CH_2\,OCO\,C_3H_7$
$|$
$CH\,OCO\,C_3H_7$
$|$
$CH_2\,OH.$

Elementaranalyse.

0,1525 Substanz lieferten bei der Verbrennung

0,3171 CO_2
0,1200 H_2O.

Gefunden:	Berechnet:
C 56,71 %	56,90 %
H 8,74 »	8,62 »
O 34.55 »	34,48 »
100,00 %.	100,00 %.

Verseifungszahl gefunden: 480, berechnet: 483.
Refraktometerzahl 18 bei 40°.
Siedepunkt unter gew. Druck 273—275°.
Siedepunkt unter 19 mm 166—168°.

Tributyrin.[1])

$CH_2\,OCO\,C_3H_7$
$|$
$CH\,OCO\,C_3H_7$
$|$
$CH_2\,OCO\,C_3H_7.$

1) Von Berthelot (Bd. II, S. 94) wurde Tributyrin durch vierstündiges Erhitzen von Dibutyrin mit der 10 bis 15fachen Menge seines Gewichtes an Buttersäure auf 240° gewonnen. Es war wie die Monoverbindung unter gewöhnlichem Drucke nicht unzersetzt destillierbar.

Lebedeff (Zeitschr. f. phys. Chemie, Bd. VI S. 150) stellte Tributyrin dar durch 60stündiges Kochen von 1 Mol. Glycerin mit 3 Mol. Buttersäure und fand den Siedepunkt zu 285° (unkorr.)

α-Dibutyrin wurde etwa 20 Stunden mit einem Überschufs von Buttersäure am Rückflufskühler im Sieden erhalten und die Mischung fraktioniert.

Elementaranalyse.

0,1632 Substanz ergaben bei der Verbrennung
0,3554 CO_2
0,1291 H_2O.

	Gefunden:	Berechnet:
C	59,39 %	59,60 %
H	8,79 »	8,61 »
O	31,82 »	31,79 »
	100,00 %.	100,00 %.

Verseifungszahl gefunden: 548, berechnet: 550.
Refraktometerzahl 12 bei 40°.
Siedepunkt unter gew. Druck 287—288°.
Siedepunkt unter 24 mm 182—184°.

Die Glyceride der Isobuttersäure.

Diese Verbindungen sind bisher noch nicht dargestellt worden. Ich gewann sie aus den Halogenhydrinen und isobuttersaurem Natrium resp. aus Isodibutyrin und Isobuttersäure in gleicher Weise wie die Butyrine.

Die Glycerinester der Isobuttersäure waren fast geruchlos und unterschieden sich von den entsprechenden Butyrinen durch tieferliegende Siedepunkte und andere Refraktometerzahlen, sonst zeigten sie in jeder Beziehung dieselben Eigenschaften.

α-Monoisobutyrin.

$CH_2\,OCO\,CH\,(CH_3)_2$
|
$CH\,OH$
|
$CH_2\,OH$.

Verseifungszahl gefunden: 348, berechnet: 346.
Refraktometerzahl 21,2 bei 40°.
Siedepunkt unter gew. Druck 264—266°.
Siedepunkt unter 19 mm 158—161°.

α-Diisobutyrin.

$$\begin{array}{l} CH_2\,OCO\,CH\,(CH_3)_2 \\ CH\,OH \\ CH_2\,OCO\,CH\,(CH_3)_2. \end{array}$$

Verseifungszahl gefunden: 486, berechnet: 483.
Refraktometerzahl 10,3 bei 40°.
Siedepunkt unter gew. Druck 272—275°.
Siedepunkt unter 22 mm 164—167°.

β-Diisobutyrin.

$$\begin{array}{l} CH_2\,OCO\,CH\,(CH_3)_2 \\ | \\ CH\,OCO\,CH\,(CH_3)_2 \\ | \\ CH_2\,OH. \end{array}$$

Verseifungszahl gefunden: 486, berechnet: 483.
Refraktometerzahl 11,5 bei 40°.
Siedepunkt unter gew. Druck 269—272°.
Siedepunkt unter 20 mm 159—162°.

Triisobutyrin.

$$\begin{array}{l} CH_2\,OCO\,CH\,(CH_3)_2 \\ | \\ CH\,OCO\,CH\,(CH_3)_2 \\ | \\ CH_2\,OCO\,CH\,(CH_3)_2. \end{array}$$

Verseifungszahl gefunden: 554, berechnet: 556.
Refraktometerzahl 10,2 bei 40°.
Siedepunkt unter gew. Druck 282—284°.
Siedepunkt unter 24 mm 173—176°.

Gemischte Glyceride der Stearin- und Palmitinsäure.

Gemischte Glyceride der Stearin- und Palmitinsäure stellte sich dar durch Erhitzen von Mono- resp. Diglycerid und Fettsäure im Fraktionierkolben unter vermindertem Druck nach dem beim Tristearin angegebenen Verfahren. Die Körper wurden aus Äther umkristallisiert.

α-Stearodipalmitin[1]).

$$\begin{array}{l} CH_2OCO\,C_{17}H_{35} \\ | \\ CH\,OCO\,C_{15}H_{31} \\ | \\ CH_2OCO\,C_{15}H_{31}. \end{array}$$

Die aus α-Monostearin und Palmitinsäure dargestellte Verbindung kristallisierte in langgestreckten rhombischen Tafeln vom Schmelzpunkt 60°.

Elementaranalyse.

0,1668 Substanz ergaben bei der Verbrennung 0,4677 CO_2
0,1810 H_2O.

Gefunden:		Berechnet:
C	76,49 %	76,26 %
H	12,05 »	12,23 »
O	11,46 »	11,51 »
	100,00 %.	100,00 %.

Verseifungszahl gefunden: 199, berechnet: 201.
Refraktometerzahl 27 bei 75°.

β-Stearodipalmitin.

$$\begin{array}{l} CH_2OCO\,C_{15}H_{31} \\ | \\ CH\,OCO\,C_{17}H_{35} \\ | \\ CH_2OCO\,C_{15}H_{31}. \end{array}$$

Diese, der vorhergehenden isomere Verbindung, aus α-Dipalmitin und Stearinsäure gewonnen, kristallisierte in Blättchen und schmolz ebenfalls bei 60°.

Verseifungszahl gefunden: 200, berechnet: 201.
Refraktometerzahl 24 bei 75°.

α-Palmitodistearin[2]).

Der aus α-Monopalmitin und Stearinsäure dargestellte Körper kristallisierte in engverwachsenen Blättchen und schmolz bei 63°.

---

1) Das von Hansen (a. a. O.) aus Hammeltalg durch Kristallisation isolierte Dipalmitostearin kristallisierte in seidenglänzenden Schüppchen und schmolz bei 55°.

2) Hansen isolierte aus tierischem Fett ein Distearopalmitin, welches in glänzenden Blättchen kristallisierte und bei 62,5° schmolz.

Elementaranalyse.

0,1640 Substanz ergaben bei der Verbrennung 0,4594 CO_2
0,1824 H_2O.

	Gefunden:	Berechnet:
C	76,40 %	76,57 %
H	12,31 »	12,29 »
O	11,29 »	11,14 »
	100,00 %.	100,00 %.

Verseifungszahl gefunden: 196, berechnet 195.

Refraktometerzahl 22,5 bei 75°.

Einige Versuche, ein Oleodipalmitin und Oleostearopalmitin zu gewinnen, waren nicht von Erfolg begleitet, die bei der Darstellung teilweise verharzten Produkte liefsen sich nicht in reinem Zustande abscheiden[1]).

Gemischte Glyceride einiger Fettsäuren und der Benzoësäure.

Einige gemischte Triglyceride von Fettsäuren und Benzoësäure wurden dargestellt durch Erhitzen von β-Acetodichlorhydrin[2]) resp. β-Benzodichlorhydrin mit Natriumsalzen auf etwa 150° während sechs bis acht Stunden. Durch Lösen in Äther und Filtration wurde das Reaktionsprodukt vom Chlornatrium befreit. Die Körper waren in alkoholischer Lösung sämtlich von neutraler Reaktion und unlöslich in Wasser.

β-Benzodichlorhydrin[3]).

$$\begin{array}{l} CH_2Cl \\ CH\,OCO\,C_6H_5 \\ CH_2Cl. \end{array}$$

---

1) Hansen hat aus tierischem Fett Dipalmitooleïn vom Schmelzpunkt 48° und Stearopalmitooleïn vom Schmelzpunkt 42° durch Kristallisation abgeschieden.

2) Acetodichlorhydrin wurde aus α-Dichlorhydrin und Acetylchlorid gewonnen. Der Siedepunkt lag bei 194° bis 195°, unter 13 mm bei 86°. 0,2154 Substanz lieferten, 0,3588 Ag Cl entspr. 41,04 % Cl, berechnet: 41,18 % Cl.

3) Benzodichlorhydrin ist zuerst von Truchot (Ann. d. Chemie und Pharm. Bd. 138, S. 297) dargestellt aus Epichlorhydrin und Benzoylchlorid. Fritsch (Ber. d. deutschen chem. Ges. Jahrg. 24, Bd. I, S. 726) erhielt Benzodichlorhydrin durch Einleiten von Chlorwasserstoffgas in ein Gemisch von Glycerin und Benzoësäure. Unter 150 mm hatte es einen Siedepunkt von 230° bis 235°.

Zur Darstellung erhitzte ich äquivalente Mengen α-Dichlorhydrin und Benzoylchlorid, welche bei gewöhnlicher Temperatur nicht aufeinander einwirkten, einige Stunden auf dem siedenden Wasserbad und darauf noch kurze Zeit mit freier Flamme. Durch Destillation im luftverdünnten Raum erhielt ich ein unter 19 mm bei 171°—173° siedendes farbloses Öl von neutraler Reaktion und schwachem Geruch nach Benzoësäure; unter gewöhnlichem Druck destillierte es bei etwa 296° unter schwacher Zersetzung. Beim Abkühlen in einem Gemisch von Äther und fester Kohlensäure erstarrte das Öl zu einer weifsen Masse.

Elementaranalyse.

0,2005 Substanz ergaben bei der Verbrennung 0,3773 CO_2
0,0796 H_2O.
0,2132 Substanz lieferten 0,2609 Ag Cl.

	Gefunden:	Berechnet:
C	51,32 %	51,50 %
H	4,41 »	4,29 »
O	13,77 »	13,74 »
Cl	30,50 »	30,47 »
	100,00 %.	100,00 %.

β-Acetodibutyrin.

$$\begin{array}{l} CH_2OCO\,C_3H_7 \\ | \\ CH\,OCO\,CH_3 \\ | \\ CH_2OCO\,C_3H_7. \end{array}$$

Diese Verbindung wurde sowohl aus Acetodichlorhydrin und buttersaurem Natrium als auch aus α-Dibutyrin und Acetylchlorid dargestellt. Ich erhielt ein farbloses Ol von schwach esterartigem Geruch und aromatisch bitterem Geschmack, welches sich mit Alkohol und Äther in jedem Verhältnis mischte. In Ather und fester Kohlensäure abgekühlt, bildete es eine unbewegliche klare Masse.

Elementaranalyse.

0,1542 Substanz ergaben bei der Verbrennung 0,3211 CO_2
0,1139 H_2O.

	Gefunden:	Berechnet:
C	56,79 %	56,93 %
H	8,21 »	8,03 »
O	35,00 »	35,04 »
	100,00 %.	100,00 %.

Verseifungszahl gefunden: 610, berechnet: 613.
Refraktometerzahl 5,3 bei 40°.
Siedepunkt unter gew. Druck 289°—291°.
Siedepunkt unter 16 mm 173°—175°.

β-Acetodibenzoïn

$$\begin{array}{l} CH_2OCOC_6H_5 \\ | \\ CHOCOCH_3 \\ | \\ CH_2OCOC_6H_5 \end{array}$$

wurde aus Acetodichlorhydrin und Natriumbenzoat gewonnen und bildete ein nahezu unbewegliches farbloses Öl vom Geruch und Geschmack der Benzoësäure, mischbar mit Alkohol und Äther. Beim Abkühlen in Äther und fester Kohlensäure wurde der Körper fest und kristallinisch.

Elementaranalyse.

0,1602 Substanz ergaben bei der Verbrennung 0,3912 CO_2
0,0788 H_2O.

	Gefunden:	Berechnet:
C	66,60 %	66,67 %
H	5,49 »	5,26 »
O	27,91 »	28,07 »
	100,00 %.	100,00 %.

Verseifungszahl gefunden: 488, berechnet: 490.

Die Refraktometerzahl lag aufserhalb der Grenze des Apparates.

Siedepunkt unter 22 mm 248°—251°.

β-Benzodibutyrin.

$$\begin{array}{l} CH_2OCOC_3H_7 \\ | \\ CHOCOCC_6H_5 \\ | \\ CH_2OCOC_3H_7. \end{array}$$

Durch Einwirkung von Natriumbenzoat auf Benzodichlorhydrin erhielt ich ein farbloses, dickes Ol von stark bitterem Geschmack mit Alkohol und Äther mischbar. In Äther und fester Kohlensäure abgekühlt, wurde es unbeweglich und undurchsichtig.

Elementaranalyse.

0,1602 Substanz ergaben bei der Verbrennung 0,3912 CO_2
0,0788 H_2O.

Berechnet:		Gefunden:
C	66,60 %	66,67 %
H	5,49 »	5,26 »
O	27,91 »	28,07 »
	100,00 %.	100,00 %.

Verseifungszahl gefunden: 503, berechnet: 500.

Die Refraktometerzahl lag auch hier aufserhalb der Grenze des Instruments.

Siedepunkt unter 18 mm 230° — 233°.

β-Benzodistearin.

$$\begin{array}{l} CH_2OCOC_{17}H_{35} \\ | \\ CHOCOC_6H_5 \\ | \\ CH_2OCOC_{17}H_{35}. \end{array}$$

Durch Erhitzen von Benzodichlorhydrin mit stearinsaurem Natrium und Umkrystallisieren des Reaktionsproduktes aus Äther erhielt ich undeutliche Kristalle, die sich in Alkohol und Äther aufserordentlich leicht lösten und bei 64° schmolzen.

Elementaranalyse.

0,2104 Substanz ergaben bei der Verbrennung 0,5834 CO_2
0,2124 H_2O.

Gefunden:		Berechnet:
C	75,61 %	75,82 %
H	11,20 »	10,99 »
O	13,19 »	13,19 »
	100,00 %.	100,00 %.

Verseifungszahl gefunden: 232, berechnet 231.

Refraktometerzahl 62 bei 75°.

Die von mir und die entsprechend von anderen Chemikern synthetisch dargestellten, sowie die aus natürlichen Fetten isolierten Glyceride habe ich in nachstehender Übersichtstabelle noch einmal zusammengestellt.

Name	Schmelzpunkte der von mir synthetisch dargestellten Glyceride	Schmelzpunkte der von anderen Chemikern synthetisch dargestellten Glyceride	Schmelzpunkte der aus natürlichem Fett isolierten Glyceride	Destillierbarkeit im Vakuum	Refraktometerzahl (bei 75°)
α-Monostearin	73°	Monostearin Berthelot: 61° Hundeshagen: 61–62°	—	Berthelot: unzersetzt destillierbar	28,8
α-Distearin	72,5°	Distearin Berthelot: 58° Hundeshagen: 76,5°	—	—	25,3
β-Distearin	74,5°		—	—	25
Tristearin	71—71,5°	Berthelot: 71° Scheij: 71,6° Heintz: 71,6°	Bouis u. Pimentel: 71,5° Hansen: 66,8°	Berthelot: unzersetzt destillierbar	23 und 24
α-Monopalmitin	65°	Monopalmitin Berthelot: 58° Chitt. u. Smith: 63°	—	Berthelot: unzersetzt destillierbar	25,3
α-Dipalmitin	69°	Dipalmitin Berthelot: 59° Chittenden u. Smith: 61°	—	—	23,8
β-Dipalmitin	67°		—	—	21,8
Tripalmitin	65,5°	Berthelot: 61° Chitt. u. Smith: 62° Scheij: 65,1°	Masqueline: 66,5° Hansen: 52°	—	23
α-Stearodipalmitin	60°	—	Dipalmitostearin Hansen: 55°	—	27
β-Stearodipalmitin	60°	—		—	24
α-Palmitodistearin	63°	—	Distearopalmitin Hansen: 62,5°	—	22,5
β-Benzodistearin	64°	—	—	—	62

Name	Siedepunkte der von mir synthetisch dargestellten Glyceride		Siedepunkte der von anderen Chemikern synthetisch dargestellten Glyceride		Refraktometerzahl
	unter gewöhnlichem Druck	im luftverdünnten Raum	unter gewöhnlichem Druck	im luftverdünnten Raum	
α-Monobutyrin	269—271°	160—163° unter 16 mm	Monobutyrin nach Berthelot: nicht unzersetzt destillierb.	Monobutyrin Berthelot: destilliert unzersetzt	26 (bei 40°)
α-Dibutyrin	279—282°	173—176° unter 19 mm	Dibutyrin nach Berthelot: bei 320° z. T. unzersetzt destillierbar	Dibutyrin Berthelot: destilliert unzersetzt	14 (bei 40°)
β-Dibutyrin	273—275°	166—168° unter 19 mm			18 (bei 40°)
Tributyrin	287—288°	182—184° unter 24 mm	Nach Berthelot: nicht unzersetzt destillierb. nach Lebedeff: 285°	Berthelot: destilliert unzersetzt	12 (bei 40°)
α-Monoisobutyrin	264—266°	158—161° unter 19 mm	—	—	21,2 (bei 40°)
α-Diisobutyrin	272—275°	164—167° unter 22 mm	—	—	10,3 (bei 40°)
β-Diisobutyrin	269—272°	159—162° unter 20 mm	—	—	11,5 (bei 40°)
Triisobutyrin	282—284°	173—176° unter 24 mm	—	—	12,2 (bei 40°)
β-Acetodibutyrin	289—291°	173—175° unter 16 mm	—	—	5,3 (bei 40°)
β-Acetodibenzoin	—	248—251° unter 22 mm	—	—	—
β-Benzodibutyrin	—	230—232° unter 18 mm	—	—	—

Name	Erstarrungstemperatur von mir gefunden	Erstarrungstemperatur nach Berthelot	Destillierbarkeit im Vakuum nach Berthelot	Refraktometerzahl (bei 40°)
α-Monoolein	gegen 0° nach mehrtägigem Stehen bei gewöhnlicher Temperatur	Monoolein 10—15°	unzersetzt destillierbar	60,1
α-Diolein	gegen 0° nach mehrtägigem Stehen bei gewöhnlicher Temperatur	Diolein 15—20°	—	58,8
β-Diolein	gegen 0°		—	56,3
Triolein	— 4° bis — 5° nach einigen Wochen bei gewöhnlicher Temperatur	bleibt flüssig bis 10° und darunter	unzersetzt destillierbar	56,5

Wie aus vorstehender Übersichtstabelle zu entnehmen ist, liegen die Schmelzpunkte der von mir dargestellten Glyceride, mit Ausnahme von Stearodipalmitin, sämtlich höher als die der Stammsäuren, und kann ich also den von Berthelot[1]) aufgestellten Satz, dafs die Schmelzpunkte der neutralen Fette immer niedriger liegen als die der Stammsubstanzen nach meinen Untersuchungen nicht bestätigen.[2])

Ebenso liegen die Schmelzpunkte der von mir gewonnenen Verbindungen fast alle höher als der entsprechenden von anderen Chemikern dargestellten.

Nach verschiedenen Angaben werden die Schmelzpunkte der höheren Glyceride durch wiederholtes Schmelzen und Erstarrenlassen stark herabgedrückt[3]) und

1) Berthelot (Bd. II, S. 59): Le point de fusion des corps gras neutres est toujours moins élevé que celui des acides dont ils dérivent.

2) Auch die von Scheij, Hundeshagen und Chittenden und Smith gefundenen Schmelzpunkte bestätigen diese Behauptung Berthelots nicht.

3) Berthelot (Bd. II S. 72) gibt an, dafs der Schmelzpunkt des Monomargarins nach wiederholtem Schmelzen des Körpers um 6° sinkt. Heise resp. Henriques u. Kühne konstatierten, dafs der Schmelzpunkt des

durch diesen Umstand liefsen sich die zum Teil sehr bedeutenden Differenzen vielleicht erklären; ich habe jene Beobachtung jedoch nicht machen können, die Körper zeigten auch nach öfterem Schmelzen, wenn lange genug abgekühlt, stets denselben Schmelzpunkt.

Eine besondere Gesetzmäfsigkeit liefsen die Schmelzpunkte der Mono-, Di- und Triglyceride unter sich wie auch die Refraktometerzahlen nicht erkennen.

Die Butyrine waren im Gegensatz zu anderen Angaben unter gewöhnlichem Druck unzersetzt destillierbar, die Glyceride der Stearin-, Palmitin- und Ölsäure konnten auch unter vermindertem Druck nicht ohne Zersetzung destilliert werden.

Der Erscheinung des sog. doppelten Schmelzpunktes der Triglyceride seien hier anschliefsend noch einige besondere Zeilen gewidmet.

Bei seinen Versuchen, aus tierischem Fett reines Stearin zu isolieren, beobachtete Heintz eine Erscheinung, die, wie er selbst angibt, bis dahin nicht bekannt war; er schreibt folgendermafsen[1]:

»Wenn man es (Stearin) in ein Kapillarrohr einschliefst, so wird es schon bei 51° bis 52° C. vollkommen durchsichtig, trübt sich aber wieder bei Steigung der Temperatur und wird endlich nochmals durchsichtig. Ich glaubte damals, das erste Durchsichtigwerden sei mit keinem wahren Schmelzen verbunden, weil, wenn man ein dünnes Blättchen des Stearins in Wasser taucht, dessen Temperatur einige und 50° C. beträgt, zwar ein Durchsichtigwerden beobachtet wird, aber die Masse nicht in einen Tropfen zusammenfliefst. Später hat Patrick Duffy diese Erscheinung ebenfalls beobachtet und zugleich behauptet, dafs bei

---

Oleodistearins um etwa 6° differierte, je nachdem der Körper in kristallinischem Zustande oder schon einmal geschmolzen der Schmelzpunktprobe unterworfen wurde.

Krafft (Organ. Chemie III. Aufl. S. 216) sagt: Durch Schmelzen und Wiedererstarrenlassen wird der Schmelzpunkt (der höheren Glyceride) stark herabgedrückt und ist daher schwer bestimmbar.

1) Journ. f. prakt. Chemie Bd. 66 S. 49.

der Temperatur von einigen 50 Graden doch eine wahre Schmelzung des Stearins stattfinde. Ich habe mich neuerdings davon überzeugt, dafs dieses in der That richtig ist, und dafs ein Stearinblättchen, wenn es nur hinreichend dünn ist, wirklich in Wasser von 52° C. flüssig wird.

P. Duffy erklärt diese Erscheinung für die Folge der Bildung verschiedener isomerer Modifikationen des Stearins. Allein da man bis dahin noch nicht chemisch reines Stearin dargestellt hatte, so konnte sie auch eben durch die Gemischtheit veranlafst sein, und es entsteht daher zunächst die Frage, ob auch chemisch reines Stearin diese Erscheinung zeigt. Da man aus tierischen Fetten das Stearin nicht in reinem Zustande gewinnen kann, so benutzte ich die Methode von Berthelot, es aus der reinen Stearinsäure und Glycerin wieder zusammenzusetzen. Ich erhielt in der That ein Stearin, das bei seiner Verseifung in Glycerin und vollkommen reine Stearinsäure zerfiel, und es gelang mir nun nachzuweisen, dafs auch dieses chemisch reine Stearin zwei Schmelzpunkte besitzt, wovon der eine bei 55° C., der andere bei 71,6° C. liegt. Es ist daher auch die Ansicht von P. Duffy als richtig zu betrachten, dafs nämlich das Stearin durch eine bestimmte Temperatur in eine andere isomere Modifikation übergehe, die sich durch einen höheren Schmelzpunkt (71,6° C.) auszeichnet und die entsteht, wenn das Stearin längere Zeit bis etwa 60° C. erhitzt wird. Diese Modifikation geht aber durch Erhitzung über 71,6° C. in die bei 55° C. schmelzende über.«

Die Annahme von Heintz, dafs die Erscheinung des doppelten Schmelzpunktes bedingt sei durch die Bildung zweier Modifikationen, ist, so unwahrscheinlich sie an sich war, doch allgemein angenommen worden, nachdem weitere Angaben seinen Befund bestätigt hatten und auch beim Tripalmitin die gleiche Erscheinung beobachtet worden war.

Aber welche Modifikationen des Tristearins und Tripalmitins sollten denn überhaupt auftreten? Die genannten Triglyceride sind ja normale Ester einer Fettsäure, die immer wieder erhalten werden kann, wenn man die Ester zerlegt. Deshalb hat Hansen die Vermutung ausgesprochen, dafs die als reine Triglyceride

angesprochenen Tripalmitine und Tristearine vermutlich keine solchen, sondern gemischte Triglyceride gewesen sind, die beim Erwärmen sich umsetzten in Mischungen einfacher Ester, die selbst bei verschiedenen Temperaturen schmelzen. Seine Beobachtung, dafs das aus natürlichem Fett isolierte Tripalmitin und Tristearin nur einen Schmelzpunkt besafs, schien diese Vermutung ebenso zu rechtfertigen wie der Umstand, dafs Berthelot für seine synthetisch gewonnenen festen Triglyceride auch nur einen Schmelzpunkt angegeben hat.

Heise schreibt, dafs das aus dem Mkanifett gewonnene Oleodistearin vorübergehend bei 28°, dauernd bei 38° schmolz, wenn der Körper, schon einmal verflüssigt, rasch abgekühlt und nun durch schnelles Erhitzen wieder zum Schmelzen gebracht wurde. Von Henriques und Kühne ist diese Angabe allerdings nicht bestätigt worden.

Masqueline hat festgestellt, dafs Tripalmitin, aus Pflanzenfett isoliert, die Schmelzpunkte 50,5° und 66,5° aufzuweisen hatte.

Die von mir dargestellten einfachen und gemischten Triglyceride zeigten ebenfalls unter Umständen einen doppelten Schmelzpunkt.

Darnach kann die Umlagerungshypothese Hansens nicht aufrecht erhalten werden. Es ist übrigens wahrscheinlich auch nicht der Wirklichkeit entsprechend, wenn Hansen seinen Triglyceriden nur einen Schmelzpunkt zuerkennt, denn eine kleine Probe des von ihm isolierten Tristearins zeigte bei einer Nachprüfung des Schmelzpunktes, die ich vornahm, ebenfalls ein doppeltes Schmelzen bei 50 und einigen Graden und bei 67°.

Nach alledem kann die Thatsache, dafs die Triglyceride bei zwei verschiedenen Temperaturen flüssig werden können, nicht in Abrede gestellt werden. Ob es sich aber dabei wirklich um ein zweifaches Schmelzen und einen doppelten Schmelzpunkt im Sinne einer zweimaligen Veränderung des Aggregatzustandes handelt, ist mir doch recht zweifelhaft geworden, als ich diese Erscheinung genauer verfolgte. Verwendet man nämlich zur Schmelzpunktbestimmung kristallinisches Tristearin, so findet man, dafs dasselbe nur bei einer Temperatur (71,5°) schmilzt, ebenso auch

das Tripalmitin und die gemischten Glyceride. Dasselbe Verhalten ist zu beobachten, wenn das Tristearin bereits einmal geschmolzen war, dann aber längere Zeit in der Kapillare aufbewahrt worden ist. Hingegen findet man, dafs das Tristearin bei 55° und 71° schmilzt, wenn es kurz vor der Probe in der Kapillare geschmolzen wurde oder in flüssigem Zustande in dieselbe gebracht und durch rasches Abkühlen erstarrt war. Weiter konnte ich konstatieren, dafs das erste Schmelzen (beim Tristearin 55°) nur dann ein vollständiges war, wenn die Kapillare sehr eng und die Tristearinprobe eine sehr kleine war. Wurde eine weite Kapillare mit viel Tristearin zur Bestimmung verwendet, so trat ein vollständiges klares Schmelzen gegen 55° überhaupt nicht ein, die Masse wurde nur weich und durchscheinend, dann wieder fest und schmolz erst bei 71,5° zu einer klaren Flüssigkeit.

Dieses verschiedene Verhalten des kristallinischen und einmal geschmolzenen Tristearins läfst nur die eine Erklärung zu, dafs der erste Schmelzpunkt (55°) darauf beruht, dafs der geschmolzene und rasch erstarrte Körper noch nicht in den kristallinischen Zustand übergegangen ist, sich vielmehr so verhält, wie unter 0° abgekühltes, flüssig gebliebenes Wasser oder eine übersättigte Glaubersalzlösung. Er ist unter den Erstarrungspunkt abgekühlt.

Wird er erschüttert oder durch Wärmezufuhr bewegt, so erstarrt er wieder in seinem ursprünglichen Zustand und die dabei freigewordene Wärme reicht bei kleinen Mengen aus, diese vollständig zum Schmelzen zu bringen. Bei grofsen Mengen ist die Erwärmung hierzu nicht genügend, da durch die umgebende Wassermasse noch Wärme entzogen wird.

Wenn diese Erklärung richtig ist, mufs in dem Augenblick des ersten Schmelzens (bei 55°) Wärme frei werden. Das ist in der That der Fall, wie folgender Versuch mir zeigte:

Etwa 5 g Tristearin wurden im Reagensglas geschmolzen, in die flüssige Masse wurde ein Thermometer eingesetzt und darauf das Fett durch Abkühlen wieder zum Erstarren gebracht. Das Reagensglas brachte ich in ein mit Wasser gefülltes Becherglas, in welches ebenfalls ein Thermometer eintauchte. Nun

wurde das Wasser langsam erwärmt. Als das Thermometer im Reagensglas 55° zeigte, entfernte ich die Flamme. Das Tristearin erweichte und seine Temperatur stieg plötzlich bis auf 68°, während die Temperatur des Wassers gleichzeitig nur 62° bis 63° betrug. Das Fett erstarrte aber alsbald wieder, was daran zu erkennen war, dafs das in demselben steckende Thermometer sich nicht mehr bewegen liefs, und schmolz schliefslich vollständig gegen 71°.

Ebenso zeigten auch Tripalmitin und die gemischten Glyceride unter den angegebenen Bedingungen einen doppelten Schmelzpunkt. Sie schmolzen bei folgenden Temperaturen:

Tripalmitin bei 50° und 65°,
Stearodipalmitin bei 52° und 60°,
Palmitodistearin bei 54° und 63°.

Darnach existieren bei diesen Triglyceriden weder zwei Modifikationen noch zwei Schmelzpunkte, und die Erscheinung des sog. doppelten Schmelzpunktes ist nichts anderes als die Folge einer Unterkühlung der einmal geschmolzenen und nicht wieder kristallinisch erstarrten Substanz.

Nun vergleiche man noch die folgende Bemerkung Berthelots[1]) über die Schmelzpunktbestimmung von Fetten:

»Avant de déterminer le point de fusion, on a eu soin de maintenir pendant quelque temps la substance grasse en fusion, de la laisser refroidir à la température ordinaire et de l'abandonner à elle-même durant plusieurs heures. Ces précautions sont nécessaire pour l'amener à un état moléculaire toujours identique à lui-même et comparable avec celui des autres corps gras neutres.«

1) Bd. 2 S. 72.

Die Wirkung von Pilocarpin auf die Zersetzungen im tierischen Organismus.

Von

Otto Frank und **Fritz Voit.**

(Aus dem physiologischen Institut zu München.)

Durch die berühmten Untersuchungen von Carl Ludwig ist festgestellt worden, dafs die Speicheldrüsen ihr Sekret nur mit einem Aufwand von Energie absondern. Ludwigs Experimente ergaben die wichtige Thatsache, dafs während der Thätigkeit der Speicheldrüsen das aus der Drüse abfliefsende Blut wärmer ist als das der Drüse zuströmende, während vor der Sekretion beide Blutarten die gleiche Temperatur besitzen. In der Drüse mufs also ein Herd der Wärmeerzeugung vorhanden sein. Es wird danach auch wahrscheinlich, dafs die Abscheidung des Speichels nicht durch die physikalischen Processe der Osmose oder der Filtration geschieht, sondern dafs chemische Umsetzungen dabei notwendig sind, die mit einer positiven Wärmetönung einhergehen. Der Procefs der Drüsensekretion war nach diesen Arbeiten in eine Parallele mit den bei der Muskelkontraktion auftretenden Erscheinungen gerückt. Die Überlegungen von Dreser[1]) lassen auch die Annahme zu, dafs es sich mit der Abscheidung des Harns ähnlich verhält.

---

1) Archiv f. exp. Pathol. u. Pharmakol. Bd. 29.

Wenn aber durch diese Versuche auch der Beweis erbracht worden ist, dafs überhaupt ein Energieaufwand bei der Sekretion stattfindet, so haben sie eine Bestimmung der Gröfse desselben nicht ermöglicht, ja nicht einmal über die Qualität der Energieumsetzungen geben sie sicheren Aufschlufs, denn auch die osmotischen oder die Filtrationsvorgänge können mit positiver Wärmetönung verbunden sein.

Auch die Beobachtung Pflügers[1]), der das Sekret der Submaxillardrüse des Hundes reicher an Kohlensäure gefunden hat als das Blut, gibt keine Gewähr dafür, dafs die Sekretion des Speichels durch chemische Umsetzungen erzielt wird. Es mufs bei solchen Versuchen gezeigt werden, dafs während der Sekretion die Zersetzung eine gröfsere ist als zuvor, denn wir wissen, — unsere letzte Arbeit[2]) klärte uns darüber besonders auf —, dafs in dem ruhenden Körper des Warmblüters lebhafte chemische Processe vor sich gehen, die mit einer Produktion von Kohlensäure verbunden sind.

Man könnte zunächst daran denken, durch kalorimetrische Versuche die Gröfse des Energieumsatzes bei der Drüsensekretion festzustellen. Dem stehen aber die aufserordentlichen technischen Schwierigkeiten bei solchen Untersuchungen im Wege, die mit unseren jetzigen Hilfsmitteln wohl noch nicht überwunden werden können.

Eine andere Möglichkeit, zum Ziele zu kommen, besteht darin, den Stoffumsatz und seine Änderung während der Drüsensekretion zu untersuchen. Man kann ja aus dem Stoffumsatz die Energieproduktion mit ziemlicher Genauigkeit berechnen. Aufserdem würde man auf diese Weise etwas über die Art des Umsatzes ermitteln können. Aber ein nach gewöhnlicher Art ausgeführter Stoffwechselversuch vermag in diesem Falle zu keinem sicheren Resultat zu führen. Es ist hierzu die Feststellung der Zersetzungsprodukte, insbesondere der Kohlensäure, in sehr kleinen Perioden notwendig, was wegen der unvermeidlichen Bewegungen

1) Vergl. die Angaben in Hermanns Handbuch Bd. 5 S. 56, 57.

2) Zeitschr. f. Biologie 1901, Bd. 42 S. 309.

der Tiere und der Fehler der Methode, welche hier durch Rechnung nicht mehr eliminiert werden können, nicht angeht.

Sichere Werte jedoch kann man erhalten, wenn man, wie wir dies in einer früheren Arbeit näher ausgeführt haben[1]), das Tier, an dem man die Änderungen der Zersetzungen bei der Sekretion untersuchen will, mit Curare vergiftet und an diesem immobilisierten Tier den Stoffwechselversuch ausführt.

Natürlich konnte an eine derartige Untersuchung erst gedacht werden, nachdem festgestellt war, dafs durch Curare keine andere Wirkung auf den Stoffwechsel ausgeübt wird als die eben durch die Immobilisierung indirekt bewirkte.

Durch unsere frühere Untersuchung ist der Beweis, dafs in der That Curare keine specifische Einwirkung auf die Zersetzungsvorgänge im Organismus besitzt, vollständig geliefert worden. Es ist in derselben zugleich gezeigt worden, dafs während des Hungers eine fast absolute Konstanz der Zersetzungen vorhanden ist, so dafs jede Änderung in den Zersetzungen, die durch irgend ein Agens bewirkt wird, mit Leichtigkeit erkannt werden kann.

Obwohl wir bis jetzt über eine systematische Untersuchung, die auf Grund der durch die Ergebnisse der früheren Arbeit gewonnenen Erkenntnis durchgeführt worden wäre, noch nicht berichten können, verlohnt es sich doch wohl, über den ersten orientierenden Versuch, den wir in der angedeuteten Absicht unternommen haben, eine kurze Mitteilung zu machen.

Derartige Versuche haben noch ein besonderes Interesse dadurch, dafs gewisse Fragen, die sich bei der Untersuchung des Stoffwechsels erhoben haben, durch sie zu einer Lösung geführt werden können. Eingehende Untersuchungen, die von Speck, v. Mering und Zuntz, Rubner, Frédéricq und Magnus-Levy[2]) ausgeführt worden sind, haben sichergestellt, dafs nach der Aufnahme der Nahrungsstoffe, besonders von Eiweifs und Kohlehydraten eine Steigerung der Sauerstoffaufnahme und der Kohlensäureabgabe, also auch der Kalorienproduktion, stattfindet.

---

1) Zeitschr. f. Biol. 1901, Bd. 42 S. 309.

2) Über die Gröfse des respiratorischen Gaswechsels unter dem Einflufs der Nahrungsaufnahme. Pflügers Archiv Bd. 55 S. 1.

Ein Teil der Autoren nimmt nun an, dafs diese Steigerung des Stoffumsatzes oder der Kalorienproduktion im wesentlichen von einer Steigerung der sog. »Darmarbeit« herrühre, während dagegen andere Momente zurücktreten sollen. Diese Ansicht wird hauptsächlich von Zuntz und seiner Schule vertreten. Unter Darmarbeit wird ein ganzer Komplex von Erscheinungen verstanden: die Sekretion der Verdauungssäfte, die Resorption, die Fortbewegung des Magen- und Darminhaltes, vermehrte Arbeit des Herzens durch verstärkte Cirkulation (s. Magnus-Levy, a. a. O. S. 5). Auf eine Diskussion der Gründe, die bisher für und wider diese Anschauung gebracht worden sind, gehen wir hier im allgemeinen nicht näher ein, sondern weisen nur darauf hin, dafs durch unsere Versuchsmethode wohl ein Beitrag zu der Lösung dieser Frage gegeben werden kann. Es wird auf diesem Wege möglich sein, durch Analyse der einzelnen Processe, welche den Sammelbegriff der Darmarbeit ausmachen, und ihrer Wirkung auf die Zersetzungen im Organismus zu einer Vorstellung zu gelangen, ob in der That durch diese Processe eine derartige Steigerung der Zersetzungsgröfse bewirkt werden kann, wie sie nach der Aufnahme von Eiweifs und Kohlehydraten stattfindet.

Wollte man bei einer derartigen Untersuchung systematisch vorgehen — und wir hoffen noch zur Durchführung dieser Untersuchung zu kommen — so müfste man die verschiedenen Drüsenapparate einzeln reizen und den Einflufs derartiger Reizungen auf den Energieumsatz feststellen. Eine solche eingehende, auf einzelne Drüsen sich erstreckende Untersuchung haben wir bisher noch nicht anstellen können. Wir haben uns als eines bequemen Mittels zur Erregung der Drüsen des Pilocarpins bedient. Was wir aber durch die Anwendung dieses Mittels an Bequemlichkeit gewonnen haben, das haben wir dabei an Exaktheit der Schlufsfolgerung eingebüfst, denn die Wirkung des Pilocarpins beschränkt sich nicht auf einzelne Drüsen, sondern erstreckt sich auf eine grofse Anzahl derselben, wobei noch strittig ist, welche von denselben seinem Einflufs unterliegen. Aufserdem besitzt dieses Mittel auch noch eine Wirkung auf einige andere Funk-

tionen des Körpers, die bis jetzt noch nicht genau festgestellt werden konnte. Doch glauben wir, unseren Versuch schon jetzt als Beweis dafür mitteilen zu sollen, dafs unsere Methode wirklich zur Untersuchung derartiger kurz dauernder Einflüsse eines Mittels auf die Zersetzungen vollkommen brauchbar ist.

Bei unserem Versuch war das tracheotomierte und curarisierte Tier an den in der oben erwähnten Abhandlung geschilderten Apparat angeschlossen. Wir erhielten für die Ausscheidung der Kohlensäure, die wir bis jetzt allein festgestellt haben, und die neben der Feststellung der Stickstoffausscheidung auch völlig zur Ermittelung des Energieumsatzes im Hungerzustand unter den gegebenen Verhältnissen genügt, die folgenden Werte:

Versuch 9.

Dogge. 28,70 kg.

Periode	Mittlere Temperatur des Hundes	CO_2 in 1 Stunde	
1. (9 h 2' — 10 h 2'	38,85	15,67)	Anfangsstunde
2. 10 › 2' — 11 › 2'	38,70	17,35	
3. 11 › 2' — 12 › 2'	38,92	17,44	
4. 12 › 2' — 1 › 2'	38,98	17,58	
5. 1 › 2' — 2 › 2'	39,07	17,26	
6. 2 › 2' — 3 › 2'	38,42	16,27	Curare
7. 3 › 11' — 4 › 11'	38,74	17,70	
8. 4 › 11' — 5 › 11'	38,96	19,20	4 h 13' 0,015 g Pilocarpin
9. 5 › 11' — 6 › 11'	39,16	17,64	5 › 12' 0,015 › ›

4 h 20' Beginn der verstärkten Speichelsekretion,
4 › 22' Aufsammlung des Speichels begonnen,
5 › 12' = 80 ccm Speichel.
Von 5 › 12' — 6 h 10' = 42 ccm Speichel.

Über die Konstanz der Zersetzungen im Hungerzustand, die gerade bei diesem Versuch so auffallend ist, ist in unserer früheren Abhandlung schon das Nötige gesagt worden. Von dieser konstanten Zersetzung hebt sich deutlich die durch das Pilocarpin bewirkte Mehrzersetzung ab. Sie beträgt für eine Stunde 8,5%. Durch die eine Stunde später erfolgte zweite Injektion ist eine Erhöhung der Zersetzungen nicht mehr hervorgerufen worden. Die Zersetzungsgröfse sank auf den früheren Wert zurück. Nach

dem ganzen Verlauf des Versuches erscheint eine allenfallsige Täuschung durch einen Versuchsfehler vollständig ausgeschlossen.

Einen weiteren Ausdruck findet die Steigerung der Zersetzungen nach der Pilocarpininjektion in dem Ansteigen der Temperatur. Das Tier lag, wie bei allen unseren Versuchen, in einem Wärmekasten, den wir in unserer früheren Abhandlung beschrieben haben. Seine Temperatur sollte annähernd auf normaler Höhe erhalten werden. Nun stieg, ohne daſs wir an der Temperatur des äuſseren Mediums etwas änderten, von selbst seine Temperatur von 38,7° bis 39,2°. Es wäre natürlich notwendig, daſs bei einer Wiederholung des Versuches speciell auf diesen Punkt geachtet würde, wenn man die Thatsache ganz sicher stellen wollte, aber nach unseren Erfahrungen, die wir bei der Regulierung der Temperatur des Tieres durch unsere Vorrichtung gemacht haben, ist es wohl keinem Zweifel unterworfen, daſs eine Erhöhung der Temperatur des Tieres durch Pilocarpin bewirkt wird, auch wenn, wie in unserem Fall, das Entstehen von Krämpfen vollständig ausgeschlossen ist.

Daſs durch Pilocarpin eine ganze Reihe von Drüsen zur Sekretion angeregt wird, haben wir schon oben hervorgehoben. Die mächtige Steigerung der Speichelsekretion geht aus unserem Versuchsprotokoll deutlich hervor.

Vor der Pilocarpininjektion war die Speichelsekretion nur so gering, daſs aus dem weit geöffneten Maul des Tieres überhaupt kein Speichel abfloſs. Schon sieben Minuten nach der ersten Injektion troff anfangs continuierlich, später in groſsen Tropfen der Speichel aus dem Maule. Von 4 h 22′ bis 5 h 12′, also in 50 Minuten, konnten in einem untergestellten Meſscylinder 80 ccm Speichel gesammelt werden. Die um 5 h 12′ erfolgte zweite Injektion von Pilocarpin rief keine weitere Steigerung der Sekretion hervor. Dieselbe nahm langsam weiter ab. Von 5 h 12′ bis 6 h 10′ wurden noch 42 ccm Speichel aufgefangen.

Auch eine Verstärkung der Schweiſssekretion konnten wir beobachten, indem sich das Tier etwas feucht anfühlte. Über die Gröſse der Steigerung der Schweiſssekretion durch Pilocarpin geben uns Versuche Aufschluſs, welche der eine von uns (Voit)

schon im Jahre 1890 ausgeführt hat. Diese Versuche wurden mit einem kleinen, 8 kg schweren Dachshund angestellt, der in den Kasten des kleinen Respirationsapparates gesetzt wurde, so dafs der Kopf des Tieres durch eine kreisrunde Öffnung in der einen Wand des Kastens heraussah. An dieser Öffnung war ein Gummiring angebracht, welcher den Hals des Tieres fest einschlofs, so dafs auf diese Weise die Ausscheidungen der Haut exakt und getrennt von denjenigen der Lunge gemessen werden konnten. Abgesehen von anderen Einflüssen (Gröfse der Ventilation, Verdauung, Wärme, Trockenheit der Luft), wurde auch die Wirkung des Pilocarpins untersucht, von welchem 0,005 g in das Ohr eingespritzt wurden, worauf sehr bald Erbrechen und starker Speichelflufs auftraten. Die Wasserabgabe durch die Haut war in Bezug auf andere vergleichbare Versuche folgende:

Versuch No.	Mittlere Temperatur der Luft	Relative Feuchtigkeit der Luft	Wasserabgabe in einer Stunde	Bemerkungen
II	15,9°	42,74	1,808	
III	14,3	35,8	1,362	
V	15,7	48,5	1,521	
VIII	16,2	55,82	1,929	
Mittel			1,655	
XII	16,4	60,2	2,889	Pilocarpin 0,005
XIII	17,7	67,18	3,289	» 0,005
Mittel			3,089	

Es war demnach die Wasserabscheidung durch die Haut um 87% erhöht, wobei allerdings die bei den Pilocarpinversuchen etwas höhere Lufttemperatur in geringem Grade mitspielt.

Vom Pilocarpin steht ferner noch fest, dafs es eine sekretionssteigender Wirkung auf die Magendrüsen (Riegel[1]) und auf das Pankreas[2]) ausübt. Auch eine solche auf die Thränendrüsen und auf die Drüsen der Nasen- und Bronchialschleimhaut wird angegeben. Von einer Steigerung der Nierensekretion ist nichts

1) Zeitschr. f. klin. Med. 1899, Bd. 37 S. 381.

2) Schmiedeberg, Grundrifs der Arzneimittellehre S. 99.

bekannt. Auch in unserem Versuch war von einer Wirkung auf die Harnabsonderung nichts zu bemerken. Vor der Pilocarpininjektion wurden 1,0 ccm Harn in der Stunde abgeschieden, nach derselben 0,5 ccm (durch den Katheter entleert).

Aufserdem wurde von Traversa eine Beschleunigung der peristaltischen Bewegungen des Darmes durch Pilocarpin beobachtet. Die Hauptwirkung erstreckt sich jedenfalls auf die Speichel- und Schweifsdrüsen.

Wenn wir nun auch bei dem mitgeteilten Versuch diese verschiedenen Wirkungen des Pilocarpins nicht auseinander halten können, ja nicht einmal Mutmafsungen über den Anteil der einzelnen Drüsensekretionen an der Steigerung des Stoffwechsels äufsern können, so ist der Nachweis der Steigerung des Stoffwechsels durch eine Drüsensekretion eine an sich hinreichend interessante Thatsache, die bis jetzt auf anderem Wege überhaupt noch nicht ermittelt worden ist. Dieser Nachweis ergänzt die Ergebnisse der Untersuchungen von Ludwig in willkommener Weise, indem daraus mit Sicherheit zu erkennen ist, dafs die Steigerung der Wärmeproduktion, welche die Drüsensekretion begleitet, in der That von einer Steigerung des chemischen Umsatzes herrührt.

Schon dieser eine Versuch, der natürlich ein abschliefsendes Urteil noch nicht gestattet, deutet darauf hin, dafs die Steigerung des Stoffwechsels durch die Drüsenarbeit nur verhältnismäfsig gering sein kann. Man mufs bedenken, dafs es sich hier um eine gleichzeitige Wirkung auf sehr zahlreiche Drüsen und um maximale Werte handelt. Trotzdem betrug die Steigerung der CO_2-Ausscheidung in der einen Stunde noch nicht 9%.

Die Versuche, aus den Angaben Ludwigs über die Erhöhung der Temperatur des Speichels oder des Venenblutes während der Sekretion eine Berechnung der während der Sekretion produzierten Wärmemengen anzustellen, wie es von Fick und Magnus-Levy geschehen ist, beruhen doch auf einer zu unsicheren Grundlage, als dafs man auf ihnen irgend welche weiteren Schlüsse aufbauen könnte. Der beste Beweis für die Unsicherheit derartiger Berechnungen liegt wohl darin, dafs Magnus-

Levy[1]) einen dreifach gröfseren Betrag, den die Kalorienproduktion in einer bestimmten Zeit annehmen soll, herausrechnet, als ihn Fick aus denselben Zahlen abgeleitet hat. Ludwig selbst hat sich gegen die Anstellung derartiger Berechnungen ausgesprochen, wenn er gewifs auch bestrebt war, die Zahlen in dieser Richtung zu benutzen. Man darf das ausdrücklich geäufserte Mifstrauen des Entdeckers als einen sehr bedeutenden Faktor bei der Beurteilung der Ergebnisse der Berechnung veranschlagen. Die Berechnung von Magnus-Levy findet durch unseren Versuch keine Bestätigung.

Die Erhöhung der Kohlensäureproduktion ist sogar noch viel geringer als 9% für eine dauernde Sekretion einzuschätzen. Denn schon in der zweiten Versuchsstunde erscheint die CO_2-Ausscheidung schon wieder auf ihrem normalen Wert, obwohl eine zweite Pilocarpininjektion gemacht worden war und die Sekretion des Speichels noch äufserst lebhaft war. Es scheint die Steigerung der Zersetzungen bei der Sekretion überhaupt nur sehr kurze Zeit anzuhalten, ein an sich sehr bemerkenswertes Ergebnis, das aber erst durch weitere Versuche gestützt werden mufs.

Auf einen weiteren Punkt möchten wir noch hinweisen. Nach den Untersuchungen Chr. Bohrs ist es nicht ausgeschlossen, dafs bei dem Austausch der Gase zwischen dem Blut und der Lungenluft sekretorische Vorgänge eine Rolle spielen. Ist die Annahme Bohrs richtig, so könnte durch das Pilocarpin eine Anregung der sekretorischen Thätigkeit der Lungen erfolgt sein, ebenso wie es bei den bekannten Versuchen von Dreser die Schwimmblase zu erhöhter Sekretion von Sauerstoff veranlafst hat. Dadurch könnte sich vielleicht ein Teil der Mehrausscheidung der Kohlensäure erklären. Die Vermehrung des chemischen Umsatzes durch die Drüsenthätigkeit würde so noch geringer ausfallen als unsere Zahlen anzeigen. Ein Entscheid über diese Frage kann dadurch geliefert werden, dafs man den zeitlichen Ablauf der Ausscheidung der Kohlensäure näher untersucht, oder durch die Untersuchung der Wirkung der isolierten

1) a. a. O. S. 113.

Reizung bestimmter Drüsen oder Drüsengruppen, und schliefslich müfsten auch Untersuchungen über den Gasgehalt des Blutes vor und während der Pilocarpinwirkung Aufschlufs bringen. Ist die Steigerung durch eine Anregung der sekretorischen Vorgänge in der Lunge erfolgt, so mufs der Kohlensäuregehalt des Blutes durch die Pilocarpinwirkung abnehmen, beruht sie auf einer Steigerung der Kohlensäureproduktion, so mufs der Kohlensäuregehalt des Blutes zunehmen.

Über den wahren Harnstoffgehalt des menschlichen normalen Harns und eine Methode, denselben zu bestimmen.[1])

Von

Dr. med. **Wm. Ovid Moor.**

Bekanntlich wird die durchschnittliche Quantität von Harnstoff, die der erwachsene, gesunde und wohlgenährte Mensch in 24 Stunden durch den Harn ausscheidet, auf etwa 25—35 g und der Prozentsatz des Harnstoffs im Urin auf 1,5—3 % geschätzt. Diese Berechnung ergibt sich sowohl aus den älteren Methoden der Harnstoffbestimmung (Liebig-Pflüger, Knop-Hüfner) wie auch aus den neuern (Mörner-Sjöquist, Pflüger-Bleibtreu), trotzdem die letzteren Methoden darauf gerichtet sind, den Harnstoff erst nach Fällung der anderen stickstoffhaltigen Substanzen des Urins zu bestimmen. Bei meinen seit zwei Jahren ununterbrochen fortgesetzten Untersuchungen des menschlichen Harns war es mir stets aufgefallen, dafs die Quantität des Harnstoffes, die ich aus dem Urin bei peinlichster Vermeidung irgend welchen Verlustes gewinnen konnte, bedeutend geringer war, als

1) Durch die Freundlichkeit des Herrn Geheimrats Prof. Feodor Beilstein ist es mir ermöglicht worden, diese Arbeit im chemischen Laboratorium der Kais. Akad. der Wissenschaften zu St. Petersburg auszuführen, wofür, wie auch für seine Hilfe mit Rat und That, ich Herrn Prof. Beilstein meinen innigsten Dank ausspreche.

ich es nach den Angaben der Lehrbücher der Chemie und Physiologie erwarten mufste. Die von mir untersuchten Urine wurden vor dem Abdampfen stets neutralisiert, damit nicht etwa das freie Alkali oder die Säure auf den Harnstoff einen zersetzenden Einflufs ausüben konnte. Temperaturen von 45—50° C. wurden gebraucht und nicht gröfsere Quantitäten als 10—50 ccm Flüssigkeit verdampft, so dafs der Harnstoff diesen gewifs mäfsigen Temperaturen nur kurze Zeit ausgesetzt war. Auch das vorherige Fällen der Phosphate und Sulfate mit einer Lösung von Baryumhydrat und Baryumnitrat änderte das Ergebnis dieser Untersuchungen in keiner Weise. Um mich von der Beständigkeit des Harnstoffes zu überzeugen, dampfte ich 10—50 ccm 2proz. Harnstofflösungen (sowohl wäfsriger wie auch alkoholischer) bei 50° bis 70° C. bis zur Trockenheit ab und konnte nach entsprechender Verdünnung mit Wasser durch die Liebigsche Titrierung mit salpetersaurem Quecksilberoxyd stets die ursprüngliche Quantität von Harnstoff nachweisen. Auch durch Hinzufügung von anorganischen Harnsalzen, wie Chloriden, Sulfaten und Phosphaten erlitt er in wäsfriger 2proz. neutraler Lösung bei 50—70° C. keinen Schaden. Solche Resultate waren in vollem Einklange mit diesbezüglichen Angaben in der Litteratur. Durch Kochen werden Harnstofflösungen nicht verändert, sagt Wurtz[1]), aufser wenn sie sehr konzentriert sind; in diesem Falle entwickeln sie geringe Mengen von Ammoniak, weil sich dann der Harnstoff auf mehr wie 100° C. erhitzt. Nach Berthelot und André zersetzt sich der Harnstoff in wäfsriger Lösung bei 100° selbst binnen 5 Tagen nicht merklich; nach Leube zersetzt er sich nicht bei sehr langem Erwärmen auf 30—40°, und Schröder hat wäfsrige Harnstofflösungen bei 60—75° C. ohne merklichen Verlust eingedampft. Nach Wurster kann man eine Harnstofflösung mit Baryumhydrat im luftleeren Raum bei 50° wiederholt zur Trockne verdunsten, ohne dafs sie Ammoniak abgibt[2]).

Was das vorsichtige Eindampfen von alkoholischen Harnstofflösungen betrifft, brauche ich nur darauf hinzudeuten, dafs

1) Wurtz, Dict. de Chimie, Urée.

2) Neubauer u. Vogel, Analyse des Harns 1898, S. 299 und 300.

Mörner und Sjöquist bei ihrer Methode kein Bedenken tragen, 150 ccm einer Alkoholäther-Verdünnung von 5 ccm Urin und 5 ccm alkalischer Chlorbaryumlösung bei etwa 55° einzudampfen. Aus dem Vorhergehenden ist also ersichtlich, dafs bei vorsichtigem Abdampfen von 10—50 ccm neutraler wäfsriger oder alkoholischer Harnstofflösungen kein Verlust an Harnstoff stattfindet. Bei Durchsicht der Litteratur fand ich, dafs Liebig[1]) der einzige Forscher war, der durch thatsächliche Extraktion des Harnstoffes aus dem menschlichen Urin die Ergebnisse seiner Methode der Harnstoffbestimmung zu kontrollieren suchte. »Es läfst sich dieser Weg benutzen«, sagt Liebig, »um Harnstoff ohne Fällung mit Salpetersäure direkt aus dem Harn darzustellen, und es ist dieses Verfahren auch als eine Methode zur quantitativen Bestimmung nicht ganz schlecht.« Die folgenden derartigen Bestimmungen sind nicht von Liebig selbst, sondern von seinem Assistenten, Dr. Mayer, ausgeführt worden:

In 10 ccm Urin fand Mayer bei verschiedenen Individuen

Harnstoff durch Alkohol	223	219	198,5 mg
durch salpetersaures Quecksilberoxyd	225	220	200 »

Nach Liebigs eigenen Worten war der extrahierte Harnstoff nicht ganz rein. Da ihn jedoch Liebig auf seine Reinheit nicht weiter untersuchte, konnte er nicht wissen, bis zu welchem Grade dieser Harnstoff verunreinigt war, und wie viel davon der Alkoholextrakt thatsächlich enthielt.

Diese Arbeit Liebigs gab mir nun den Anstofs, den aus dem menschlichen Harn auf direktem Wege gewonnenen Harnstoff auf seine Reinheit zu prüfen, um dadurch möglicherweise die Erklärung zu finden, warum es mir niemals gelungen war, aus dem menschlichen Urin auch nur annähernd diejenige Quantität von CH_4N_2O darzustellen, welche ich nach den Ergebnissen der verschiedenen Methoden der Bestimmung erwarten durfte.

1) Über einige Harnstoffverbindungen und eine neue Methode zur Bestimmung von Kochsalz und Harnstoff im Harn. Ann. der Chemie und Pharm. Bd. 85 S. 316.

Vor allem mufs ich an die Liebigsche Methode der Titrierung mittels salpetersaurem Quecksilberoxyd einige Bemerkungen knüpfen, da ich bei meiner hier vorliegenden Arbeit mich dieser Methode bediente. Bekanntlich herrscht jetzt allgemein die Ansicht, dafs durch Liebigs Methode nicht der Harnstoff, sondern in Wirklichkeit der Gesamtstickstoff des Urins, in Harnstoff ausgedrückt (Pflüger), bestimmt wird. Es ist aber leicht nachzuweisen, dafs solches nicht der Fall ist, wenn der Routine gemäfs vor Hinzufügung der Quecksilberlösung zuerst das Kochsalz durch Silbernitrat gefällt wird.

Nehmen wir zwei Proben zu 10 ccm eines stark gelb gefärbten, also gewöhnlich schon recht schweren Urins und bestimmen wir, wie viel von einer Silbernitrat-Normallösung (29,042 g Ag NO_3 in 1 l Wasser) zu der einen Probe dieses Harns bis zum Aufhören der Niederschlagsbildung oder Trübung hinzugefügt werden kann. Nun wird zur zweiten Probe von 10 ccm desselben Urins die entsprechende Quantität von Silbernitrat, doch diesmal in Substanz, hinzugefügt und die Mischung mittels eines Glasstabes gut umgerührt; man läfst den Niederschlag am Boden des Probierglases sich ansammeln und wartet, bis die darüber stehende Flüssigkeit ganz klar ist. Der vor der Kochsalzfällung gelbe Urin ist jetzt ganz oder fast farblos geworden. Somit ist der Farbstoff, der den Harn gelb gefärbt hatte, durch das salpetersaure Silberoxyd gefällt worden, und dem Harn selber mindestens ein stickstoffhaltiger Bestandteil, das Urochrom, entzogen worden[1]). Doch wie viel Urochrom enthält der menschliche Harn? Eine quantitative Bestimmung dieses Farbstoffes liegt nicht vor (oder ist mir wenigstens nicht bekannt). Dafs der Gehalt des Urins an Urochrom ein verhältnismäfsig bedeutender sein mufs, geht schon daraus hervor, dafs Plósz[2]) aus der Tages-

1) Durch Silbernitrat wird aber nicht nur das Urochrom gefällt, sondern auch andere Farbstoffe, ferner Xanthinbasen, ein Teil der Harnsäure und Sulfocyanwasserstoff; selbst der Barytniederschlag bei Liebigs Methode enthält etwas Stickstoff (Hämatoporphyrin). Siehe Neubauer u. Vogel 1898, S. 217, 709, 861.

2) Zeitschr. f. phys. Chemie 1883, S. 89.

menge Harn 5—6 g Uromelanin, ein Zersetzungsprodukt des Urochroms, gewann. Da aber kleine Mengen von Uromelanin auch von anderen Harnsubstanzen herrühren können, nämlich von der Uroprotsäure und von Kohlehydraten (Udránszky), so wollen wir die 24stündige Menge von Urochrom nur auf 5 bis 6 g schätzen und noch annehmen, dafs auch die anderen Substanzen, die bei der Liebigschen Methode gefällt werden, nämlich Xanthinbasen, Farbstoffe, Harnsäure und Sulfocyanwasserstoff, in diesen 5—6 g mit enthalten sind. 5—6 g Urochrom auf 1500—1600 ccm Harn entspricht einem Prozentsatze von 0,35% Urochrom. Eine einfache Berechnung zeigt, dafs die Summe aller bekannten N-Substanzen des Urins aufser dem Harnstoff und dem Urochrom nicht über 0,35% beträgt.

Bei einer 24stündigen Menge von 1550 ccm enthalten 100 ccm normaler Harn:

Kreatinin	0,061 g	(Neubauer)
Harnsäure	0,051 »	(Dapper)
Oxyproteinsäure . .	0,06 »	(Bondzýnski u. Gottlieb)
Hippursäure . . .	0,035 »	(Neubauer)
10 Xanthinbasen . .	0,0056 »	(Camerer)
Urobilin	0,001 »	(Müller u. Gerhardt)
Ammonium . . .	0,034 »	(Coranda)
	0,2526 g.	

Somit beträgt die Summe der aufgezählten stickstoffhaltigen Körper, die in 100 ccm normalem Harn enthalten sind, 0,2526 g. Nach dieser Berechnung bleibt für alle anderen hier nicht erwähnten N-Substanzen 0,1%, wenn die Summe der bekannten stickstoffhaltigen Körper im Urin, aufser dem Urochrom und dem Harnstoff, einen Prozentsatz von 0,35 erreichen soll. $^1/_{10}$% für diese anderen N-Körper ist eher zu hoch als zu wenig gerechnet. Bei einigen dieser Stoffe ist nämlich der Prozentsatz berechnet worden und hat minimale Resultate ergeben, wie z. B. bei der Indoxylschwefelsäure (Harnindican), deren Quantität von Jaffé zu 0,0006% bestimmt wurde. Hingegen sind andere Harnbestandteile infolge der äufserst geringen Menge in der sie vorkommen, quantitativ gar nicht bestimmbar gewesen, so dafs zu ihrem

Nachweise grofse Mengen von Harn verarbeitet werden mufsten. Um z. B. Baumstarks stickstoffhaltigen Körper nachweisen zu können, mufs man vom normalen Menschenharne etwa 40 l verarbeiten[1]); dasselbe gilt von den verschiedenen Alkaloiden, die von Lépine, Aducco, Pouchet u. a. im Harn gefunden worden sind[2]).

Alle bekannten N-Körper des normalen Harns mit Ausnahme des Harnstoffes und des Urochroms betragen also nicht über 0,35% und übersteigen nicht den Prozentsatz des Urochroms, besonders, wenn zu diesem noch Xanthinbasen, ein Teil der Harnsäure, Sulphocyanwasserstoff und Farbstoffe hinzugerechnet werden. Es steht daher unzweifelhaft fest, dafs sich Liebigs Methode der Ureabestimmung nicht auf den ganzen Stickstoffgehalt des Urins bezieht, sondern aufser dem Harnstoff höchstens nur die Hälfte der anderen bekannten N-Substanzen anzeigt. Übrigens wird durch die anderen Methoden der Ureabestimmung keine viel bedeutendere Menge von Stickstoff gefällt, als durch die Fällung mit Silbernitrat bei dem Verfahren von Liebig. So z. B. enthält nach Söldner[3]) das Alkoholäther-Filtrat bei der Methode von Mörner-Sjöquist allen Stickstoff des im Harn befindlichen Kreatinins und der Hippursäure. Zu dieser Beobachtung Söldners möchte ich noch hinzufügen, dafs das Urochrom oder ein grofser Teil desselben durch Alkoholäther ebenfalls nicht ausgefällt wird, wenn der letztere zu einer wäfsrigen Lösung von Urochrom hinzugefügt wird, wie es beim Mörner-Sjöquist-Verfahren der Fall ist. Auch nach der Fällung des Harns mit Phosphorwolframsäure (Methode von Pflüger-Bleibtreu) bleibt nach Bohland u. a. die Hippursäure zurück; auch die Uroprotsäure wird durch Phosphorwolframsäure nicht gefällt[4]).

Was die Resultate der verschiedenen Methoden der Harnstoffbestimmung betrifft, so stehen dieselben ganz nahe zu einander. Die gefundenen Werte nach Knop-Hüfners Methode

---

1) Loebisch, Anleitung zur Harnanalyse 1893, S. 65.
2) Ibid. S. 30.
3) Zeitschr. f. Biol. Bd. 38 S. 244.
4) Centralbl. f. d. med. Wiss. Bd. 33.

(mit Natrium-Hypobromatum) sind um $^1/_{10}$ bis $^2/_{10}$% niedriger als die Werte nach Liebig[1]). (Man vergesse aber nicht, daſs der Harnstoff nicht seinen ganzen Stickstoff an Bromlauge abgibt.)

Die Resultate der Methode von Mörner-Sjöquist geben etwas höhere Werte als die nach Hüfner[2]) und stehen somit den Liebigschen Werten ganz nahe.

Auch die Fällung mit Phosphorwolframsäure gibt durchschnittlich dieselben Resultate wie die Hüfnersche Methode.[3])

Das Verfahren von Liebig kann folglich sehr gut zur Grundlage dienen für weitere Arbeiten auf dem Gebiete der Harnstoffbestimmung, und Vergleiche von neu gefundenen Werten mit den Resultaten der Quecksilbernitrat-Titration beziehen sich ebenso gut auf die andern Methoden der Harnstoffbestimmung.

Bei der Anwendung der Liebig-Methode bediente ich mich der Pflügerschen Modifikation, wie aus folgendem Beispiele ersichtlich ist:

50 ccm Urin (spez. Gewicht 1029, Reaktion neutral) wurden mit 25 ccm Barytlösung vermengt (zwei Volumen kalt gesättigter Baryumhydrat- und ein Volumen kalt gesättigter Baryumnitratlösung); von dieser Mischung wurden zwei Portionen abfiltriert, — eine von 30 ccm (entsprechend 20 ccm Harn) und eine von 7½ ccm (entsprechend 5 ccm Harn). Die kleinere Portion von 7½ ccm Harnbarytmischung diente zur Bestimmung der nötigen Quantität von Silbernitrat, um das Kochsalz und das Urochrom in 5 ccm Harn zu fällen; es waren dazu nach vorheriger Neutralisierung mit etwas Salpetersäure 4,5 ccm einer Silbernitrat-Normallösung erforderlich. Folglich wurden die 30 ccm Harnbarytmischung nach Hinzufügung einiger Tropfen konzentrierter Salpetersäure mit $4 \times 4{,}5 = 18$ ccm Silberlösung vermengt und filtriert. Vom Filtrate wurden abermals zwei Portionen genommen, — eine von 24 ccm (= 10 ccm Harn) und eine zweite von 12 ccm (= 5 ccm Harn). Zur zweiten Portion wurden 10 ccm Liebig-

1) Fehling, Neues Handwörterbuch der Chemie Bd. 3 S. 570.
2) Camerer u. Söldner, Zeitschr. f. Biologie 1899, S. 276.
3) Ibid. S. 289.

scher Quecksilbernitratlösung[1]) in einem Strahle hinzugefügt und die freie Säure mit 10 ccm einer Sodakarbonatlösung von 1053 spez. Gewicht fast gänzlich abgestumpft; nach weiterem Hinzufügen von 0,5 Quecksilberlösung trat die Endreaktion noch nicht ein. Da somit 5 ccm Harn mindestens 10,5 ccm Liebigscher Lösung aufnehmen konnten, wurde die gröfsere Portion von 24 ccm (= 10 ccm Harn) mit 2 × 10,5 = 21 ccm Quecksilberlösung vermengt und mit 21 ccm Sodalösung neutralisiert; nach weiterem Hinzuthun von 1,7 ccm (zu je 0,1 ccm) Quecksilberlösung, ohne nochmals zu neutralisieren, trat eine schwache, aber deutlich gelbe Endreaktion auf dem Uhrglase ein, die sich bei Fortsetzung des Verfahrens immer mehr verschärfte. Die Korrekturziffer wurde nach Pflügers Formel bestimmt: $-(V_1 - V_2) \times 0{,}08$; in diesem Falle betrug

V_1: 15 ccm Harnbarytmischung + 9 ccm $AgNO_3$-Lösung + 21 Na_2Co_3-Lösung = 45 ccm, und
V_2: = 22,7 ccm,

die Anzahl der verbrauchten Cubikcentimeter Quecksilberlösung, abgezogen von 45, gab 22,3.

Folglich war die Korrekturziffer $-22{,}3 \times 0{,}08 = -1{,}784$, und der Prozentsatz des Harnstoffs in diesem Urin betrug $(22{,}7 - 1{,}78) : 10 = 2{,}09\,\%$, was dem bisher angenommenen Harnstoffgehalte eines Urins von 1029 spez. Gewicht vollkommen entspricht.

Besonders empfehlenswert schien mir die Liebig-Pflügersche Methode sowohl wegen ihrer Einfachheit als auch durch den Umstand, dafs zwei unter denselben Bedingungen ausgeführte Analysen desselben Urins fast bis auf $^1/_{100}\,\%$ übereinstimmten, so dafs eine solche Bestimmung für einen Urin ganz genügte. Hingegen fand ich, dafs bei der Azotometrie mittels Bromlauge drei Analysen desselben Urins nötig waren, von denen die Mittelzahl genommen wurde, da die Unterschiede zwischen zwei Analysen

---

1) 71,48 g reines Quecksilber gelöst in der nötigen Menge HNO_3 und verdünnt auf 1 Liter; 10 ccm einer 2-proz. Harnstofflösung benötigten genau 20 ccm der Titrierflüssigkeit, bevor die Endreaktion eintrat.

gewöhnlich zu bedeutend waren und manchmal fast $^{2}/_{10}$% betrugen. Zu diesen Vorzügen kam noch auf Grund von diesbezüglichen Litteraturangaben die Überzeugung, daſs die Resultate der Quecksilbernitrat-Titration den Werten, die andere Methoden der Harnstoffbestimmung gaben, sehr nahe kamen.

Eigene Untersuchungen.

1. Ich nahm Urin, der um 9 Uhr abends gelassen war, ein spez. Gewicht von 1030 hatte und sauer reagierte. Vor allem bestimmte ich seinen Harnstoffgehalt nach der Liebig-Pflüger-schen Methode und fand, daſs derselbe 2,2% betrug.

Nun neutralisierte ich 40 ccm von diesem Urine mit einigen Tropfen einer $Na_2 CO_3$-Lösung von 1053 spez. Gewicht und dampfte sie bei etwa 50° C. auf dem Wasserbade ab, bis ein halbfester, geléartiger Überrest blieb. Diesen Überrest zerrieb ich mit 20 ccm absoluten Alkohols, ohne dabei zu erwärmen, und filtrierte die alkoholische Flüssigkeit durch ein kleines, vorher in Alkohol getränktes Filter. Der Überrest in der Abdampfschale wurde noch einige Male mit Alkohol behandelt und durch dasselbe Filter filtriert, so daſs das Alkoholfiltrat etwa 40 ccm betrug. Um mir Gewiſsheit zu verschaffen, daſs kein Harnstoff im Residuum zurückgeblieben war, löste ich das letztere in 2 ccm warmem Wasser auf und fügte zu dieser Lösung 2 ccm konzentrierter Salpetersäure hinzu; selbst nach einigen Stunden war keine Spur von salpetersaurem Harnstoff zu sehen. Das Alkoholfiltrat, welches somit den ganzen Harnstoff von 40 ccm Urin enthalten muſste, wurde vorsichtig bei etwa 45° C. in einer Glasschale mit hohen Wänden auf dem Wasserbade abgedampft, und der zweite Überrest noch einmal mit starkem Alkohol vermengt und in ein graduiertes Meſsglas filtriert, das mit einem Kautschukpfropfen gut verschlossen werden konnte. Das Endfiltrat betrug 32 ccm und wurde nach gutem Umschütteln in vier gleiche Portionen zu je 8 ccm geteilt (durch Abgieſsen von je 8 ccm in 3 kleine Meſsgläser), so daſs jede derselben den Harnstoff von 10 ccm Urin enthalten muſste.

a) Die erste Portion wurde vorsichtig bei etwa 45° C. in einer Glasschale von genau bestimmtem Gewichte abgedampft und hinterliefs einen Überrest, der 225 mg wog. Nachdem, wie oben erwähnt, die Harnstoffbestimmung dieses Urins mittels der Liebig-Pflügerschen Methode einen Prozentsatz von 2,2 ergab, so stimmte das Resultat dieses ersten Versuches der Harnstoffextraktion durch Alkohol mit der Quecksilbertitration sehr gut überein. Doch schon mit freiem Auge und noch mehr mit einer starken Lupe bemerkte ich, dafs ich es nicht mit reinem Harnstoff zu thun hatte, sondern mit einem Gemenge von Harnstoff und einer gelben, fettigen Substanz, in der weifse Harnstoffnadeln wie eingebettet lagen. Dieses Residuum von gelber Substanz und Harnstoff wurde in 10 ccm Wasser aufgelöst und mit Quecksilbernitrat titriert; nach Hinzufügung von 19 ccm Liebigscher Lösung trat die Endreaktion ein, was nach gemachter Korrektur einem Prozentsatze von 1,82 % Harnstoff entsprach, so dafs eine Verringerung um 0,4 % gegen die erste Bestimmung zu konstatieren war.

b) Die zweite Portion von 8 ccm Alkoholfiltrat wurde ebenfalls abgedampft und wog 219 mg. Das Residuum von gelber Substanz und Harnstoff, welches neutral reagierte, wurde in einigen Cubikcentimetern Wasser aufgelöst und mit 10 ccm einer 1 proz. Kaliumpermanganatlösung gut vermengt. Nach Verlauf von 24 Stunden war die Chamäleonlösung vollkommen zersetzt; Mangansuperoxydhydrat hatte sich abgeschieden, und über demselben stand eine schwach gelblich gefärbte Flüssigkeit, so dafs 219 mg des sog. unreinen Harnstoffs 100 mg Kaliumpermanganat bei gewöhnlicher Zimmertemperatur im Laufe von 24 Stunden zersetzt hatten. Diese Zersetzung des Permanganats war jedoch in keinerlei Weise durch die Gegenwart des Harnstoffs bedingt. Das Verhalten des Harnstoffs zum Kaliumpermanganat ist genau untersucht worden und findet sich in allen ausführlichen Lehrbüchern der organischen Chemie beschrieben. Im allgemeinen läfst sich sagen, dafs der Harnstoff zu den schwer oxydierbaren organischen Substanzen gehört.

So z. B. verändert ihn konzentrierte, von salpetriger Säure freie Salpetersäure in keiner Weise, wenn sie zu einer gesättigten Urealösung bei gewöhnlicher Temperatur hinzugefügt wird, sondern verbindet sich mit ihm zu Ureanitrat, $CO(NH_2)_2 . HNO_3$, aus dem das unveränderte $CO(NH_2)_2$ durch Neutralisation der Salpetersäure mit Baryumkarbonat zurückgewonnen werden kann. In ähnlicher Weise verbinden sich mit ihm die andern starken Mineralsäuren, Schwefelsäure und Salzsäure, zu schwefelsaurem oder salzsaurem Harnstoff. Auch an der Luft erleidet der Harnstoff oder seine wäfsrige Lösung keine Veränderung und kann Temperaturen bis zu 99° C. ohne welchen Schaden ausgesetzt werden.

Der Harnstoff ist somit durchaus nicht eine im gewöhnlichen Sinne des Wortes leicht zersetzbare oder veränderliche Substanz, sondern kann mit Recht ein beständiger Körper genannt werden. Entsprechend seiner Widerstandsfähigkeit Einwirkungen chemischer und physischer Natur gegenüber wird er durch das Kaliumpermanganat, welches sonst die meisten organischen Substanzen oxydiert, unter gewöhnlichen Umständen nicht verändert.

Ich habe Harnstoff, 250 mg, in 25 ccm einer neutralen 1 proz. Kaliumpermanganatlösung 24 Stunden gelassen und konnte ihn (nach vorheriger Zersetzung des Permanganats mit etwas Alkohol) durch Abdampfung der Lösung bei 50° C. und Extraktion des Residuums mit ungewärmtem Alkohol unverändert gewinnen. Selbst bei mäfsigen Temperaturen von 40—50° C. konnte ich keine Einwirkung von neutralen Chamäleonlösungen auf Harnstoff bemerken. Ich fügte zu einer 1 proz. $MnKO_4$-Lösung Harnstoffkrystalle hinzu, die sich rasch auflösten, und setzte diese Lösung 15—20 Minuten hindurch einer Temperatur von 50—52° aus, ohne dafs sich ihre Farbe in irgend welcher Weise verändert hätte. Diese Beobachtungen entsprechen vollkommen den folgenden Angaben in der Litteratur:

α) In alkalischer Lösung wird der Harnstoff bei gewöhnlicher Temperatur von übermangansaurem Kali nicht oxydiert.[1])

1) **Béchamp**, Annalen der Chemie und Pharm. Bd. 100, S. 250.

β) Durch $KMnO_4$ wird Harnstoff in saurer Lösung bei 100° sehr schnell in Kohlensäure, Stickstoff, Ammoniak und Wasser zersetzt unter Abscheidung von Mangansuperoxyd; in alkalischer Lösung findet keine Zersetzung statt.[1]) (Wahrscheinlich bezieht sich diese Angabe auf stärkere Lösungen von $KMnO_4$, denn wir finden:)

γ) Eine angesäuerte $^1/_{100}$ Normallösung von Kaliumpermanganat (315,3 mg $KMnO_4$ in 1 l Wasser) zersetzt bei 100° C. den Harnstoff nicht.[2])

Von diesen drei Angaben bezieht sich am nächsten auf meinen Versuch die von Béchamp gemachte, daſs der Harnstoff in alkalischer Lösung bei gewöhnlicher Temperatur vom übermangansauren Kali nicht oxydiert wird. Zu 219 mg des unreinen Harnstoffs waren nämlich 100 mg $KMnO_4$ (in 10 ccm Wasser gelöst) gefügt worden; da ein Teil des Kalisalzes sofort zersetzt wurde, bildete sich als eines der Zersetzungsprodukte Kaliumhydroxyd, KHO, wodurch die Lösung schwach alkalisch gemacht wurde.

Schon dieser erste Versuch, und zwar das Verhalten der zweiten Portion zum Permanganat, brachte mir die Gewiſsheit, daſs der Harnstoffgehalt des normalen menschlichen Urins um ein Bedeutendes überschätzt worden war. Hier hatten wir einen recht konzentrierten Abendurin, von 1030 spez. Gewicht, der nach der Liebig-Pflügerschen Titriermethode einen Harnstoffgehalt von 2,2 % besaſs und nach allem, was von den Resultaten der andern Methoden bekannt ist, auch nach denselben ungefähr 2,1—2,2 % Harnstoff enthalten hätte. Die mit aller Vorsicht gemachte Alkoholextraktion ergab ein Residuum von 219 mg, das offenbar aus zwei Teilen bestand, — einem durch neutrale oder schwach alkalische Permanganatlösung oxydierbaren und einem unoxydierbaren. Der oxydierbare Teil war keinesfalls Harnstoff, der unoxydierbare hingegen muſste nicht notwendigerweise nur aus Harnstoff bestehen, sondern konnte sowohl anorganische wie organische Beimischungen enthalten. So

1) Kolbe-Graham-Otto, Organische Chemie III. S. 510.

2) Beilstein, Org. Chemie Bd. 1 S. 1290.

z. B. hat Liebig[1]) gefunden, dafs die Löslichkeit des Kochsalzes in Alkohol durch den Harnstoff etwas vermehrt wird; aus einer Mischung von Kochsalz mit Harnstoff gewann Liebig 97,03 Teile Urea und 2,97 Teile Kochsalz. Aber auch unoxydierbare, ich meine durch neutrale oder schwach alkalische Permanganatlösung bei gewöhnlicher Temperatur unoxydierbare organische Beimischungen konnten die 219 mg enthalten. Das Kreatinin z. B. ist zwar im Alkohol nur schwer löslich[2]), mufste jedoch bei Anwendung so vielen Alkohols gänzlich in Lösung übergehen und einen Bestandteil des sog. unreinen Harnstoffs ausmachen. Ich habe Kreatininlösungen mit Permanganat stark violett gefärbt und fand, dafs in 24 Stunden bei gewöhnlicher Temperatur nicht die geringste Wechselwirkung zwischen Permanganat und Kreatinin stattfand, und selbst bei 60° C. konnte ich nach ½ Stunde in einer solchen Lösung keine Veränderung wahrnehmen. Somit konnte von den 219 mg höchstens derjenige Überrest aus Harnstoff bestehen, der nach Entfernung des oxydierbaren Teils, des Kochsalzes und des Kreatinins zurückgeblieben wäre.

c) Die dritte Portion von 8 ccm Alkoholfiltrat wurde ebenfalls vorsichtig abgedampft, und das Residuum etwa 1 Stunde lang bei 80—85° C. auf dem Wasserbade gelassen; die gelbe Substanz wurde dadurch dunkler, und die Harnstoffnadeln durch den Kontrast noch deutlicher sichtbar. Es wurde mit salpetersaurem Quecksilberoxyd titriert, wobei die Endreaktion nach Hinzufügung von 15 ccm Liebigscher Lösung eintrat, was eine Abnahme von 0,7% Harnstoff gegen die ursprüngliche Bestimmung (2,2%) bedeutete. Da jedoch der Harnstoff bei 80—85° C. keine Zersetzung oder Veränderung erleidet, war offenbar die gelbe Substanz durch diese Temperatur etwas zersetzt worden; bei der ersten Portion von 225 mg fand die Endreaktion nach 19 ccm $Hg(NO_3)_2$-Lösung statt, so-

1) Annalen der Chemie und Pharm. Bd. 85 S. 317.

2) Nach Toppelius u. Pommerehne in 625 Teilen absol. Alkohol, nach Liebig bei 16° in 102 Teilen (Neubauer u. Vogel 1898, S. 388).

mit war ein Verlust an Substanz eingetreten, der 4 ccm Quecksilberlösung entsprach.

d) Der Überrest der vierten Portion wurde 3 Stunden bei etwa 85° C. am Wasserbade gelassen; er wurde nur etwas dunkler als das Residuum der dritten Portion und gab bei 14½ ccm Quecksilberlösung eine deutliche Endreaktion. Da der Harnstoff auch in diesem Falle keinen Schaden erleiden konnte, so betrug der Harnstoffgehalt dieses Urins im günstigsten Falle nur etwa 1,4%, nicht aber 2,2%.

In derselben Weise wurden noch andere Versuche angestellt, — hier einige Resultate derselben.

II. Concentrierter Abendurin, spez. Gewicht 1035, Reaktion schwach alkalisch. Harnstoffgehalt nach Liebig-Pflüger 2,48%.

30 ccm bei nicht über 50° abgedampft, Residuum mit starkem Alkohol extrahiert und nach Filtration in drei gleiche Portionen geteilt. (Das Filtrat wurde diesmal nicht zum zweiten Male abgedampft und abermals mit Alkohol extrahiert, sondern gleich in drei Portionen geteilt, da bei der ersten Analyse nur eine sehr geringfügige Ausscheidung von unlöslichen Substanzen stattfand.)

a) Die erste Portion ergab 259 mg und zeigte nach der Liebig-Pflügerschen Methode einen vermeintlichen Harnstoffgehalt von 1,75% (statt 2,48%).

b) Die zweite Portion wog nach Abdampfung 250 mg und wurde mit 15 ccm 1proz. Permanganatlösung (150 mg $KMnO_4$) vermengt. Nach 24 Stunden waren nur noch 10 mg $KMnO_4$ unzersetzt geblieben[1]); somit hatte das Residuum von 250 mg mehr als die Hälfte seines eigenen Gewichtes, 140 mg Permanganat, zersetzt.

---

1) Ich brachte das Volum der Mischung auf 100 ccm, filtrierte durch Filterpapier, das mittels Permanganat oxydiert worden war und fand, daſs ich zu 100 ccm destillierten Wassers 1 ccm einer 1-proz. $MnKO_4$-Lösung hinzufügen muſste, um die Farbe der filtrierten Mischung zu erhalten; folglich waren 10 mg Permanganat unzersetzt geblieben.

c) Die dritte Portion wurde 1 Stunde bei etwa 85° gelassen und liefs einen Überrest, der 210 mg wog, also einen Verlust an Substanz von 40 mg gegen die 250 mg der zweiten Portion erlitten hatte; dieser Überrest war dunkelgelb und halbflüssig, doch waren die Harnstoffnadeln in ihm deutlich erkennbar. Bei der Titrierung mit $Hg(NO_3)_2$ trat die Endreaktion nach Verbrauch von 14,6 ccm $Hg NO_3)_2$ Lösung ein. Eine Verminderung der Substanz von 250 mg bis auf 210 mg bedeutete einen Gewichtsverlust von 16%; dementsprechend trat die Endreaktion schon bei 14,6 ccm ein, so dafs der Harnstoffgehalt von Urin II im günstigsten Falle (ohne Korrektur) nur 1,46% betragen konnte.

III. Concentrierter Abendurin, spez. Gewicht 1036½, von stark gelber Farbe und sauerer Reaktion. Harnstoffbestimmung nach Liebig 2,66%. Alkoholextrakt von 30 ccm Harn in drei Teile geteilt.

a) Residuum 295 mg, nach Liebig (ohne Korrektur) 2,54% Urea.

b) Überrest 290 mg, zersetzt in 24 Stunden 171 mg $KMnO_4$.

c) Residuum 3 Stunden bei etwa 85° C. gelassen: dunkelgoldgelb, Harnstoffkrystalle schön ausgebildet. Endreaktion nach 19,2 ccm Quecksilberlösung.

IV. Urin von 8 Uhr abends, 1025 spez. Gewicht, kaum merklich alkalisch. (Harnstoffbestimmung nach Liebig mifsglückte.) Alkoholextrakt von 30 ccm Harn in drei Teile geteilt.

a) Residuum wog 162 mg; Endreaktion nach 12,5 ccm $Hg(NO_3)_2$ Lösung.

b) 168 mg; in 24 Stunden 95 mg $KMnO_4$ zersetzt.

c) Die dritte Portion wurde einige Minuten hindurch auf 150—200° erhitzt, um den Harnstoff zu zerstören; das Residuum wurde dunkelbraun, stellenweise sogar verkohlt, und löste sich in einigen Cubikcentimetern Wasser zu einer dunkelgelben, stark urinös riechenden Flüssigkeit auf. Zu dieser Flüssigkeit wurde Liebigsche Titrierlösung gefügt; nach 6 ccm trat die Endreaktion ein. Der Niederschlag, der sich durch Hinzufügung

dieser 6 ccm Quecksilberlösung bildete, hatte eine Ziegelfarbe (etwas rosa), während die Flüssigkeit selbst farblos wurde.[1])

Aus diesen und einer ganzen Reihe ähnlicher Versuche konnte ich nicht unwichtige Schlufsfolgerungen ziehen. Die Desoxydation des Kaliumpermanganats durch den vermeintlich etwas verunreinigten Harnstoff konnte in einem so bedeutenden Mafse nur dann vor sich gehen, wenn im gewonnenen Residuum eine bedeutende Quantität einer leicht oxydierbaren Substanz (oder mehrerer solcher Substanzen) vorhanden war. Man bedenke, dafs in den angeführten vier Beispielen

1.	219 mg Residuum	100 mg	$KMnO_4$
2.	250 mg »	140 mg	»
3.	290 mg »	171 mg	»
4.	168 mg »	95 mg	»

in 24 Stunden bei gewöhnlicher Temperatur zersetzt hatten. Diese Desoxydation konnte weder durch den Harnstoff noch durch die quantitativ wichtigsten Stickstoffsubstanzen des normalen Harns bewirkt werden.

Wie schon erwähnt, übt das Kreatinin auf eine neutrale oder schwach alkalische $KMnO_4$-Lösung keine Wirkung aus. Aber auch die reine Hippursäure wird in neutraler Lösung bei gewöhnlicher oder mäfsiger Temperatur vom Permanganat nicht angegriffen, wie ich durch zwei oder drei Versuche mich überzeugen konnte. (Göfsmann[2]) empfiehlt Kaliumpermanganat zur Entfärbung der freien Hippursäure.)

Die Harnsäure konnte wegen ihrer absoluten Unlöslichkeit im Alkohol in einem Alkoholextrakt des Harns überhaupt nicht vorhanden sein.

Auch das Urochrom, der Hauptfärbestoff des menschlichen Urins, konnte wegen seiner schweren Löslichkeit in absolutem Alkohol[3]) höchstens nur in Spuren gegenwärtig sein. Um zu

1) Urin I, II und IV waren von erwachsenen, gesunden und wohlgenährten Personen; Urin III von einem 15-jährigen Kindermädchen. Alle vier hatten gemischte Kost, doch III vorwiegend Brot und Mehlstoffe.

2) Neubauer u. Vogel 1898, S. 225.

3) Thudichum, Journ. f. prakt. Chemie Bd. 104 S. 257.

sehen, wie viel Urochrom im Alkoholextrakt des Harns vorhanden sein könnte, fügte ich zu einem solchen eine gesättigte Lösung von Silbernitrat in Alkohol tropfenweise hinzu, bis die Bildung von Niederschlag und Trübung aufhörte; nach Filtrierung war die Flüssigkeit fast ebenso hellgelb gefärbt wie vor der Fällung mit $Ag\,NO_3$ und hinterliefs nach Verdunstung des Alkohols das schon beschriebene Gemenge von gelber, fettiger Substanz und Harnstoff. Dasselbe Resultat erhielt ich, wenn zur Fällung statt Silbernitrat einige Tropfen einer konzentrierten ammoniakalischen Bleiacetatlösung (in Wasser) gebraucht wurden. (Durch ammoniakalisches Bleiacetat wird übrigens nicht nur das Urochrom, sondern auch das Urobilin und die meisten Farbstoffe des Harns gefällt.) Die Quantität des Urochroms, die in der alkoholischen Lösung von gelber Substanz und Harnstoff vorhanden war, konnte also nur eine minimale sein. Um mich von der Unlösbarkeit des Urochroms auch auf anderem Wege zu überzeugen, machte ich folgenden Versuch: Ich dampfte 100 ccm eines stark gelb gefärbten, neutralisierten Urins bei nicht über 50° C. ab, bis der Rückstand die Dichte eines Gelés hatte, der sich mit Schwierigkeit giefsen liefs, also mehr als die gebräuchliche Syrupdichte besafs. Der Überrest wurde auf 0° C. abgekühlt, mit kaltem absoluten Alkohol, 20 ccm, gut verrieben und die alkoholische Flüssigkeit durch ein kleines Filter filtriert. Es wurden noch einige alkoholische Auszüge des Rückstandes gemacht, bis der Alkohol vollkommen farblos blieb, während der Rückstand erdig, bröcklig und ockerfarben wurde; neu hinzugefügter Alkohol blieb ganz farblos. Das Residuum wurde in 100 ccm warmem Wasser aufgelöst und bildete eine Lösung von fast derselben intensiv gelben Farbe wie der ursprüngliche Harn, während das Alkoholfiltrat (auf 100 ccm verdünnt) nur eine blafsgelbe Farbe besafs. Sowohl die stärker gefärbte wie die blafsgelbe Flüssigkeit wurde mit Silbernitrat in Substanz behandelt; die erstere wurde ganz entfärbt, die letztere nur etwas heller. Dieser Versuch bewies mir aufs neue, dafs das Urochrom in absolutem Alkohol fast unlöslich ist und keinen oder nur einen minimalen Bestandteil des erwähnten Gemenges von Harn-

stoff und gelber Substanz ausmacht. Die nächste Frage war, wie konnte der Harnstoff von dieser Beimengung von gelber, fettiger Substanz befreit und dadurch eine annähernd genaue Bestimmung des Harnstoffgehaltes des menschlichen Urins erreicht werden? In erster Reihe mufste begreiflicherweise die Oxydation des Harns durch Permanganat und besonders die Oxydation des steten Begleiters des Harnstoffs, der gelben Substanz, was auch ihre Beschaffenheit sein mochte, in Betracht kommen. Es wurden also 20 ccm Harn bei 50° C. abgedampft und der alkoholische Extrakt des Rückstandes in zwei Hälften geteilt; die eine gab ein Residuum von 203 mg, die zweite eines von 209 mg. Die erste Portion gab nach Liebig-Pflüger 1,55% Harnstoff. Die zweite Portion von 209 mg wurde in einigen ccm Wasser aufgelöst und mit 12 ccm 1proz. $KMnO_4$-Lösung vermengt; nach 24 Stunden waren 110 mg $KMnO_4$ zersetzt. Die Lösung wurde mit etwas Alkohol entfärbt, filtriert und nach Neutralisation des Kaliumhydroxyds mit 1—2 Tropfen verdünnter Salpetersäure bis auf konstantes Gewicht eingedampft. Das Residuum bestand abermals aus einem Gemenge von Harnstoff und einer gelben, fettigen Substanz, nur dafs die letztere trockener, fester war wie vor der Oxydation. Nach Liebig-Pflüger enthielt dieses Residuum 1,36% Harnstoff. Somit war die gelbe Substanz nicht zerstört, sondern in eine ähnliche verwandelt worden. Durch das Permanganat können nämlich starke und mäfsige Oxydationen bewirkt werden. Starke Oxydationen finden in saurer Lösung statt, besonders bei gleichzeitiger Erhitzung auf 100°, wobei 1 Molekül $KMnO_4$ $2^1/_2$ Atome Sauerstoff abgibt, während die oxydierte stickstoffhaltige Substanz in vielen Fällen in Stickstoff, Ammoniak, Kohlensäure und Wasser zersetzt wird. Mäfsige Oxydationen werden durch neutrale oder schwach alkalische, nicht zu starke Permanganatlösungen ausgeführt; sie bewirken die Umwandlung von N-Substanzen in chemisch nahe stehende Körper. So z. B. wird nach Claus[1]) die Harnsäure durch $KMnO_4$ zu Allantoin oxydiert, nach der Gleichung:

1) Berichte der d. chem. Ges. Bd. 7 S. 227.

$$C_5 H_4 N_4 O_3 + O + H_2 O = C_4 H_6 N_4 O_3 + CO_2$$

Harnsäure — Allantoin.

Nach Sundwik[1]) läfst sich die Harnsäure zu Uroxansäure oxydieren, wenn eine alkalische Harnsäurelösung mit einer Chamäleonlösung in der Kälte behandelt wird, nach der Gleichung:

$$C_5 N_4 H_4 O_3 + O + 2 H_2 O = C_5 H_8 N_4 O_6$$

Harnsäure — Uroxansäure.

Da somit die oxydierbare Substanz nicht zerstört war, fehlte auch die Gewifsheit, dafs der gefundene Prozentsatz von 1,36% sich nur auf den Harnstoff bezog; denn ich konnte nicht wissen, mit wie viel Quecksilbernitrat sich die oxydierte Substanz vereinigt hatte. Verschiedene Fällungsmittel wurden der Reihe nach versucht, um den Harnstoff von seiner Beimengung (sowohl vor wie nach der Oxydierung) zu befreien, doch ohne Resultat[2]). Endlich machte ich die folgende Beobachtung: Wurde der oxydierte Alkoholextrakt des Harns 1—2 Stunden bei etwa 85° C. gelassen, so konnte die oxydierte gelbe Substanz in alkoholischer Lösung durch Silbernitrat gefällt werden; wurde nur 15—20 Minuten lang auf 85° erhitzt, so war die Fällung mit Silbernitrat keine vollständige. Herr Akademiker Beilstein untersuchte diesen Silberniederschlag persönlich und fand, dafs er nebst Chlorsilber eine reichliche Beimengung organischer, stickstoffhaltiger Substanz enthielt, die nicht von Harnstoff herrührte. Es war also jetzt die Möglichkeit gegeben, Harnstoffbestimmungen zu machen, welche sich nicht zu gleicher Zeit auf den konstanten Begleiter des Harnstoffs bezogen. Ein Verlust an Harnstoff war weder durch die Permanganatbehandlung noch durch die Fällung mit Silbernitrat zu befürchten. Wie schon erwähnt, machten neutrale Chamäleonlösungen bei mäfsigen Temperaturen von 40—50° keinen Eindruck auf Harnstoff. Was das Verhalten des Harnstoffes zu Silbernitrat betrifft, brauche ich nur auf die

1) Zeitschr. f. phys. Chemie Bd. 20 S. 335.

2) Auch Phosphorwolframsäure (in Gegenwart von Salzsäure) und alkalische Chlorbaryumlösung konnten keine Trennung der beiden Substanzen bewirken.

Arbeit Werthers[1]) hinzuweisen, in der einige Verbindungen des Harnstoffs mit Salzen beschrieben sind: »Vermischt man concentrierte wäfsrige Lösungen von gleichen Molekülen Harnstoff und salpetersaurem Silberoxyd, kalt oder bis zu 50° erwärmt, so krystallisiert eine Verbindung derselben in grofsen glänzenden rhombischen Prismen. Die Krystalle sind in kaltem und heifsem Wasser unzersetzt löslich und ebenso in kaltem und heifsem Alkohol«. Der Harnstoff wird also durch Silbernitrat nicht gefällt, sondern verbindet sich mit ihm zu einem leicht löslichen Salze, $CO\,N_2\,H_4 \,.\, Ag\,NO_3$.

Die folgenden Analysen wurden auf Grund der von mir gemachten Beobachtung bezüglich der Fällung der oxydierten gelben Substanz mit Silbernitrat ausgeführt:

I. Harn von 24 Stunden, 2300 ccm, spez. Gewicht $1017^1/_2$, Farbe hellgelb, Reaktion schwach sauer. 10 ccm wurden mit etwas $Na_2\,CO_3$ neutralisiert und mit einigen Cubikzentimetern einer 1proz. $KMn\,O_4$-Lösung vermengt; im Laufe von 24 Stunden wurde noch einige Male etwas $KMn\,O_4$ hinzugefügt, bis die Farbe der Flüssigkeit permanent etwas rötlich blieb, also auf einen kleinen Überschufs von Chamäleon hindeutete. Es wurde mit ein wenig Alkohol entfärbt, dann filtriert, das Filtrat bei 50° C. abgedampft und der Rückstand 1 Stunde bei 85° gelassen, worauf er zu wiederholtem Male mit absolutem Alkohol behandelt wurde. Zum alkoholischen Filtrate, etwa 20 ccm, welches den ganzen Harnstoff der 10 ccm Urin enthielt, wurde tropfenweise von einer gesättigten Lösung von $Ag\,NO_3$ in starkem Alkohol (95°) hinzugefügt, bis sich kein Niederschlag mehr von Chlorsilber und organischem Silberniederschlag bildete. Nach vorsichtiger Filtrierung und Abdampfung blieb ein Residuum, das aus schön geformten Harnstoffnadeln und etwas Verunreinigung bestand, aber keine Spur von gelber Substanz enthielt. Dieser Rückstand wog 62 mg und enthielt 55 mg Harnstoff, wie durch Titrierung mit Liebigscher Lösung festgestellt wurde. Da die 24stündige

---

1) Werther, Über die Verbindung des Harnstoffs mit Salzen, Journ. f. prakt. Chemie Bd. 35 S. 51.

Harnmenge 2300 ccm betrug, so war der Harnstoffgehalt dieses Urins 12,65 g bei einem Prozentsatz von 0,55 % Urea.

II. Harn von 24 Stunden, 1480 ccm, schwach sauer, spez. Gewicht 1027. Harnstoffgehalt nach Methode wie I. 0,68 %, was 9,9 g Urea in 24 Stunden entspricht.

III. Harn von 24 Stunden, 2120 ccm, Reaction neutral, spez. Gewicht 1015. Harnstoffgehalt 0,5 %, entsprechend 10,6 g in 24 Stunden. (Das Residuum wog 60 mg.)

IV. Abendurin, spez. Gewicht 1030, R. schwach sauer. Harnstoffgehalt nach Liebig-Pflüger 2,1 %. Nach Oxydation und Silberfällung ergab sich ein Prozentsatz von 1,15 %, also etwa die Hälfte von der Bestimmung nach Liebig.

V. Concentrierter Abendurin, schwach alkalisch, spez. Gewicht 1037.

Harnstoff nach Liebig-Pflüger 2,3 %.

Nach Oxydation und Silberfällung nur 0,85 %, also etwa $^1/_3$ der Bestimmung nach Liebig.

VI. Harn von 24 Stunden, 1600 ccm, spez. Gewicht 1020, R. neutral.

Nach Liebig-Pflüger 1,72 %, entsprechend 27,52 g Urea in 24 Stunden.

Nach Behandlung mit $KMnO_4$ und $AgNO_3$: 0,92 % Harnstoff, entsprechend 14,7 g in 24 Stunden.

VII. Urin von 9 Uhr abends, spez. Gewicht 1030, neutral.

Nach Liebig-Pflüger 2,55 %.

Nach Permanganat und Silbernitrat 0,93 % Urea.

VIII. 24stünd. Harn, spez. Gewicht 1022, neutral, 1820 ccm.

Nach Liebig-Pflüger 1,44 % = 26,2 g in 24 Std.

Nach $KMnO_4$ und $AgNO_3$ 0,7 % = 12,7 g Urea in 24 Std.

In den folgenden Analysen wurde das oxydierte Harnresiduum statt 1 Stunde nur etwa 15 Minuten bei 85° gelassen.

IX. Urin von 8 Uhr morgens, spez. Gewicht 1020, Reaktion sauer. Harnstoffgehalt nach Liebig-Pflüger 1,4 %. Der Rückstand nach der Fällung mit Silber enthielt noch eine Beimengung von oxydierter gelber Substanz; dementsprechend gab die Bestimmung nach Liebig (ohne Korrektur) 1 % Harnstoff.

X. Concentrierter Harn von 9 Uhr abends, spez. Gewicht 1037, Reaktion sauer. Nach Liebig-Pflüger 2,7%; nach Oxydierung, Erhitzung des Rückstandes auf 85° (15 Minuten) und Fällung mit Silbernitrat, 1,6% Harnstoff.

XI. Urin von 6 Uhr nachmittags, sauer, spez. Gewicht 1030. Harnstoffgehalt nach Liebig-Pflüger 2,26%. Auf Rat des Herrn Prof. Beilstein untersuchte ich bei diesem Urin, ob die Hinzufügung einer bekannten Quantität von reinem Harnstoff sich nach der Oxydierung und Fällung mit Silber genau nachweisen liefse. Da mich ferner Herr Beilstein darauf aufmerksam machte, dafs ein Teil des Silberniederschlages durch das Kali verursacht sei, welches bei der Zersetzung von $KMnO_4$ in der Form von KHO frei würde, so beschlofs ich, das Kaliumpermanganat durch ein anderes Salz der Übermangansäure zu ersetzen. Am geeignetsten für diesen Zweck schien mir das übermangansaure Zink, $Zn(MnO_4)_2 + 6H_2O$, welches bei seiner Zersetzung statt des im Wasser und Alkohol löslichen Kaliumhydroxyds das unlösliche Zinkhydroxyd, $Zn(OH)_2$ abscheidet. Herr Prof. Beilstein untersuchte das Filtrat eines Harns, der mit Zinkpermanganat oxydiert worden war, und fand, dafs es keine Spur von Zink enthielt; die Thatsache, dafs der Mangan-Niederschlag nach der Zersetzung von $Zn(MnO_4)_2$ viel heller (hellbraun) war als nach der Zersetzung des Kalisalzes, erklärte Herr Beilstein durch die Gegenwart des unlöslichen weifsen Zinkhydroxyds im Mangan-Niederschlage. Der Gebrauch des Zinkpermanganats schien mir hierdurch so vorteilhaft, dafs ich von jetzt an dieses Salz statt der Kaliverbindung anwandte[1]).

1. 20 ccm Urin (XI.) wurden mit etwas Na_2CO_3 neutralisiert und mit 30 ccm einer 3proz. Lösung von $ZnMn_2O_8 + 6\ H_2O$ vermengt. Statt 24 Stunden zu warten, wurde die Flüssigkeit auf 50° erwärmt; nach 10 Minuten war das Zinkpermanganat ganz zersetzt.

Das Volum des oxydierten Harns wurde durch Hinzufügung von Wasser auf 60 ccm gebracht, und davon 30 ccm, entsprechend

1) Ich bediente mich des Zincum Permanganic. puriss. cryst. von E. Merck.

10 ccm Harn, abfiltriert. Das Filtrat, das neutral reagierte, wurde bei 50° abgedampft, und der Rückstand 15 Minuten bei 85° gelassen, worauf er viermal mit Alkohol von 98° behandelt wurde, zuerst mit 10 ccm, dann dreimal zu je 5 ccm. Es wurde nun nach gutem Umrühren des alkoholischen Auszuges (in einem 50 ccm Meſsglase) mit Silbernitrat gefällt, die Hälfte der alkoholischen Flüssigkeit, entsprechend 5 ccm Urin, abfiltriert und vorsichtig bei etwa 45° C. abgedampft. Das Residuum bestand nebst gut ausgebildeten Harnstoffkrystallen auch aus oxydierter, gelber Substanz. Nach Auflösung des Rückstandes in 5 ccm Wasser wurde mit Liebigscher $Hg(NO_3)_2$-Lösung titriert; 5 ccm Quecksilberlösung wurden in einem Strahle zugefügt und mit 5 ccm Sodalösung von 1053 sp. G. neutralisiert. Nach Hinzufügung von weiteren 3 ccm $Hg(NO_3)_2$-Lösung (zu je 0,2 ccm) trat die Endreaktion bei 8 ccm ein, was einem vermeintlichen Harnstoffgehalt von 1,6 % (ohne Korrektur) gleichkam.

2. Ich nahm abermals 20 ccm vom selben Urin, neutralisierte mit Na_2CO_3 und fügte 10 ccm einer reinen Harnstofflösung hinzu, die 126 mg Harnstoff enthielt, wie durch wiederholte Titrierung der Lösung festgestellt worden war. Die Harnureaflüssigkeit wurde mit 30 ccm der 3proz. Zinkpermanganatlösung vermengt und 10 Minuten hindurch auf 50° erwärmt. Während das Permanganat bei der ersten Portion von 20 ccm Harn nach 10 Min. ganz zersetzt war, blieb in diesem Falle noch ein Überschuſs von unzersetztem $ZnMn_4O_8$ zurück, so daſs die Flüssigkeit noch eine schwach violette Farbe behielt. Somit hatte die Gegenwart von 126 mg zugefügten Harnstoffs, statt die Zersetzung des Zinkpermanganats zu beschleunigen, dieselbe nur noch zurückgehalten. Der Überschuſs von Permangan wurde durch einige Tropfen Alkohol bei 50° C. zersetzt, die Flüssigkeit filtriert, die Hälfte des Filtrats (= 10 ccm Urin) abgedampft und das Residuum in genau derselben Weise behandelt wie bei der ersten Portion. Der Endrückstand bestand auch diesmal aus Harnstoffnadeln und gelber Substanz; bei der Titrierung mit $Hg(NO_3)_2$ trat die Endreaktion bei 12,8 ccm ein, was einem Harnstoffgehalt von $2 \times 1,28 = 2,56$ % gleichkam. Von diesen 2,56 % fällt 126 : 2

= 63 mg auf den zugefügten reinen Harnstoff, was für den Prozentsatz des Harnstoffs bei der zweiten Portion 2,56 — 0,63 = 1,93% läfst. Vergleichen wir diese Ziffer mit dem Resultate bei der ersten Portion, 1,6%, so finden wir, dafs die Hinzufügung von reinem Harnstoff den vermeintlichen Ureagehalt des Harns um 0,33% vermehrt hat. Es war somit der Beweis gegeben, dafs der Harnstoff durch die Behandlung des Urins mit Permanganat nicht nur keinen Schaden erleidet, sondern dafs seine Gegenwart die Oxydation der gelben Substanz beeinträchtigt. Schon dieser Umstand sprach gegen die Anwendung der Permanganat-Silber-Methode; denn bei einem bedeutenden Gehalte an Urea konnte der vermeintliche Prozentsatz des letzteren durch seine eigene Gegenwart um ein Beträchtliches vergröfsert werden. Aber noch ein anderer Grund lag vor, die Permanganat-Silber-Methode als unzuverlässig zu betrachten. Bei einigen hier nicht erwähnten Analysen hatte ich nämlich die Beobachtung gemacht, dafs trotz des Erhitzens des Rückstandes auf 85° 1—2 Stunden lang es nicht gelungen war, die oxydierte gelbe Substanz mit salpetersaurem Silberoxyd zu fällen, wodurch bei der Titrierung mit $Hg(NO_3)_2$ viel gröfsere Werte erhalten wurden als bei den hier erwähnten Analysen.

Ich wandte in der Folge meine Aufmerksamkeit der Untersuchung verschiedener Lösungsmittel des Harnstoffs zu, in der Hoffnung, eines zu finden, worin sich nur der Harnstoff, nicht aber sein steter Begleiter, die gelbe, fettige Substanz lösen würde. Auch diese Bemühungen waren anfangs vergeblich, denn Flüssigkeiten, wie alkoholhaltiger Äther, Glycerin, lösten beide Substanzen in gleichem Mafse. Da fiel mir bei Durchsicht der Litteratur eine Angabe auf, die ich in Beilsteins Organischer Chemie (Bd. I, »Harnstoff«) fand, und nach welcher der Harnstoff sich durch Oxalsäure in Fuselöl (Amylalkohol) vollständig fällen läfst. Näheres über diesen Gegenstand fand sich in Brückes Originalartikel.[1]) Durch diese Beobachtung Brückes angeregt,

1) Monatshefte f. Chemie Bd. 3 S. 195. Ich möchte bei dieser Gelegenheit auf eine irrtümliche Angabe aufmerksam machen, die sich in Neu-

untersuchte ich den Amylalkohol auf seine Lösungsfähigkeit dem Harnstoff und der gelben Substanz gegenüber und fand zu meiner Genugthuung, dafs die letztere im Amylalkohol ganz unlöslich ist, während der erstere sich, obwohl nicht leicht, für analytische Zwecke jedenfalls hinlänglich gut löst (besonders in pulverförmiger oder mikrokrystallischer Form). Die Möglichkeit, genauere Harnstoffbestimmungen zu machen, schien jetzt endlich gegeben. Bei näherer Untersuchung jedoch fand sich, dafs es unmöglich war, den Harnstoff durch Amylalkohol von seinem Begleiter gänzlich zu befreien; denn der Harnrückstand konnte noch so oft (8 bis 10mal) mit Amylalkohol zerrieben werden, stets liefs sich die Gegenwart von Urea mittels Salpetersäure noch nachweisen. Es besteht also offenbar eine so innige Verbindung zwischen Urea und seinem Begleiter, dafs sie durch Amylalkohol nicht vollkommen getrennt werden können. Da das Amylalkohol bisher das einzige Mittel war, das den beiden Substanzen gegenüber eine ganz entgegengesetzte Lösungsfähigkeit besafs, so wollte ich darauf nicht gänzlich verzichten, bis ich auch sein Verhalten zur oxydierten gelben Substanz untersucht hatte. 100 ccm Urin wurden zu diesem Zwecke mit Zinkpermanganat oxydiert und in zwei Portionen geteilt, die nach Filtrierung bei 50° abgedampft wurden. Der Rückstand der einen Portion wurde viermal mit Amylalkohol zu je 25 ccm behandelt; die ersten drei Auszüge gaben mit Oxalsäure (in Fuselöl) einen Niederschlag von Urea-Oxalat, der im dritten Auszuge schon unbedeutend war, während der vierte Auszug mit Oxalsäure keinen Niederschlag gab, also frei von Harnstoff war. Alle vier Amylalkoholextrakte waren vollkommen farblos, während der Rückstand selber stark gelb gefärbt blieb. Das Residuum der zweiten Portion wurde mit 16 ccm absoluten

bauer u. Vogels »Analyse des Harns«, 1898, S. 309, vorfindet: »Noch sicherer gelingt der Nachweis nach Brücke . . . ., der Amylalkohol soll sich mit Oxalsäure nicht rot oder braun färben, darf aber kleine Mengen Äthylalkohol enthalten.« Dies ist offenbar ein Versehen, denn Brücke sagt, dafs durch die Gegenwart von Äthylalkohol die Fällung unvollständig wird; hingegen braucht das Fuselöl in sonstiger Hinsicht nicht chemisch rein zu sein und darf sich durch Oxalsäure sogar etwas färben.

Alkohol verrieben, wobei der letztere eine deutliche Gelbfärbung annahm. Zum Äthylalkohol wurden nun 30 ccm Amylalkohol hinzugefügt, und die beiden Flüssigkeiten mit Hilfe eines Glasstabes gut vermengt. Hierbei war deutlich zu bemerken, dafs bei der Vermischung der beiden Alkohole sich eine wachsartige, gelbe Substanz ausscheidet, während die Flüssigkeit vollkommen farblos blieb; es wurde noch zweimal mit ein wenig Fuselöl nachgewaschen und dekantiert. Der Äthyl-Amylalkoholauszug wurde vorsichtig bei 40° abgedampft und hinterliefs weifse nadelförmige Krystalle, die sich als Harnstoff erwiesen; vom steten Begleiter des Harnstoffs, der gelben Substanz, war keine bemerkbare Spur vorhanden. Die Rückstände beider Portionen wurden mit Salpetersäure untersucht und erwiesen sich als vollkommen frei von Harnstoff.

Dieser Versuch wurde noch einige Male wiederholt, und in jedem Falle gelang es, nach mäfsiger Oxydation des Urins den ganzen Harnstoff durch Amylalkohol zu gewinnen. Meine nächste Aufgabe war jetzt, auf Grund dieser unerwarteten und überraschenden Beobachtung die technischen Einzelheiten einer zweckmäfsigen Methode der Harnstoffbestimmung auszuarbeiten. In erster Reihe kam Brückes Angabe in Anbetracht, dafs der Harnstoff in amylalkoholischer Lösung durch Oxalsäure, und besonders durch eine ätherische Lösung von Oxalsäure, gefällt wird. Versuche in dieser Richtung jedoch zeigten mir, dafs die Fällung in Fuselöl keine vollständige war. Den Grund dazu deutet schon Brücke an, indem er von einer möglichst vollkommenen Fällung spricht, die besonders dann stattfindet, wenn kleine Mengen von Fuselöl zur Lösung des Harnstoffs gebraucht werden. Diese Bedingung zu erfüllen, war mir nicht möglich, da sich der Harnstoff in Fuselöl nur schwer löst und das letztere verhältnismäfsig nur wenig Urea in Lösung zu halten vermag; es waren stets einige Extraktionen des Harnrückstandes mit viel Amylalkohol (selbst gewärmtem) nötig, um den Harnstoff von 10 ccm Urin in Lösung zu bringen. — Am einfachsten und zweckmäfsigsten schien mir daher eine Titriermethode, die sich auch in amylalkoholischer Lösung ausführen liefse. Das salpetersaure

Quecksilberoxyd, auf welchem die Liebigsche Methode basiert ist, konnte zur Titrierung einer Urealösung in Fuselöl nicht verwendet werden; dieses Quecksilbersalz ist nämlich in Äthylalkohol ganz unlöslich und kann nur in wäfsriger Lösung benützt werden. Wasser jedoch kann mit Fuselöl nicht vermengt werden, und das letztere schwimmt auf der Oberfläche des Wassers wie Öl. Hingegen vermengt sich Alkohol wie auch wasserhaltiger Alkohol, falls das Wasser nicht über 40% beträgt, vollkommen mit Fuselöl; eine Titrierflüssigkeit, die mit Fuselöl zusammengebracht werden soll, mufs daher mindestens 60% Äthylalkohol enthalten. Nun ist das salpetersaure Quecksilberoxyd in Alkohol so unlöslich, dafs schon das Hinzufügen von 3 ccm Äthylalkohol zu 4 ccm Liebigscher Titrierflüssigkeit eine Trübung und Niederschlagsbildung verursacht.

Die grofse Löslichkeit eines anderen Quecksilbersalzes, des Quecksilberchlorids, $Hg\,Cl_2$, in Äthylalkohol und in wasserhaltigem Äthylalkohol[1]) bestimmte mich, dieses Salz zur Titrierung des Harnstoffs in Amylalkohol anzuwenden. Die Verbindung des Sublimats mit Urea, $CO\,N_2\,H_4.\ Hg\,Cl_2$, wurde zuerst von Werther[2]) genauer beschrieben. Diese Verbindung ist in Wasser und auch im Äthylalkohol löslich; folglich entsteht bei Hinzufügung von Sublimat zu einer wäfsrigen oder alkoholischen Urealösung kein Niederschlag. Auch die Mischung einer alkoholischen Sublimat- und amylalkoholischen Harnstofflösung bleibt zuerst klar, dann bildet sich in der sonst nicht getrübten Flüssigkeit ein weifser flockiger Niederschlag von Sublimat-Urea, der jedoch der Menge des verbrauchten Quecksilberchlorids und Harnstoffs nicht entspricht; somit ist $CO\,N_2\,H_4.\ Hg\,Cl_2$ auch im Fuselöl teilweise löslich. Wird eine klare Lösung von Sublimat-Urea mit Kalilauge vermengt, so bildet sich ein weifser flockiger Niederschlag, der nach Liebig[3]) aus einer Verbindung von Urea und Queck-

---

1) Das Sublimat löst sich in 3 Teilen Alkohol und in 16 Teilen Wasser bei 15° C.; in Fuselöl ist es schwer löslich.

2) Werther, Über die Verbindung des Harnstoffs mit Salzen, Journ. f. prakt. Chemie, Bd. 35, S. 51.

3) Ann. der Chemie und Pharm. Bd. 85 S. 291.

silberoxyd besteht, in welcher auf 1 Äquivalent Urea 3 Äquivalente Quecksilberoxyd kommen, — $3\,Hg\,O + \overset{+}{U}$; derselbe Niederschlag entsteht auch, wenn man eine Harnstofflösung mit KHO, Na_2CO_3 oder $NaHCO_3$ stark alkalisch macht und dann mit Sublimat vermischt.[1]) Bei all diesen Reaktionen verbindet sich das neu entstandene HgO augenblicklich mit dem Harnstoff, so dafs es trotz seiner orangengelben Farbe ganz unsichtbar bleibt.

Von den genannten Alkalien ist für unsere Zwecke nur das Kaliumhydroxyd, KHO, gebrauchbar, da Na_2CO_3 und $NaHCO_3$ in Alkohol wie auch in Amylalkohol ganz unlöslich sind, und ihre wäfserigen Lösungen sich mit Fuselöl nicht vermengen könnten; hingegen ist das Kaliumhydroxyd sowohl in Äthyl- wie auch in Amylalkohol leicht löslich.

Dafs es Liebigs ursprüngliche Absicht war, das Sublimat und die Kalilauge zur Harnstoffbestimmung zu verwenden, ist aus seinem kurzen Artikel »Reagens auf Harnstoff«[2]) ersichtlich, in welchem dargelegt ist, dafs sich durch Quecksilberchlorid und Kali noch $^1/_{5000}$ Urea einer Lösung nachweisen läfst, und sich diese Reaktion deshalb zur quantitativen Bestimmung des Harnstoffs sehr eignet. In einem hierauf folgenden Artikel »Über einige Harnstoffverbindungen und eine neue Methode zur Bestimmung von Kochsalz und Harnstoff im Harn«[3]) weist Liebig auf den Umstand hin, dafs Werther schon früher eine in platten, perlglänzenden Säulen krystallisierende Verbindung von Sublimaturea beobachtet hatte, und dafs diese Verbindung nach Piria mit Kali einen weifsen Niederschlag gäbe. Aber aus Gründen, die Liebig nicht angibt, wählt er in der Folge

1) Die Entstehung dieser Niederschläge findet nicht unter allen Umständen statt. Vermengt man eine Harnstofflösung mit etwas Sublimat und fügt selbst reichlich doppeltkohlensaueres Natron hinzu, so bleibt die Mischung ganz klar; mit kohlensauerem Natron entsteht nur eine Trübung, mit Kalilauge ein deutlicher Niederschlag. Wird aber die Harnstofflösung zuerst mit KHO, Na_2CO_3 oder $NaHOC_3$ stark alkalisch gemacht, so entsteht bei Hinzufügung von $HgCl_2$ sofort ein dichter, weifser flockiger Niederschlag.

2) Ann. der Chemie und Pharm. Bd. 80, S. 123.

3) Ibid. Bd. 85 S. 289.

statt des Quecksilberchlorids das salpetersaure Quecksilberoxyd, $Hg(NO_3)_2$, zur Grundlage seiner wohlbekannten Titriermethode. Hingegen wird das Sublimat nur noch als Hindernis bei dieser Titriermethode erwähnt, wie aus folgendem ersichtlich: »Wenn man zu 10 ccm einer reinen 2 proz. Harnstofflösung 20 ccm der titrierten Quecksilberlösung zusetzt, so bringt kohlensaures Natron in dieser Mischung eine deutliche gelbe Färbung von gefälltem Quecksilberoxyd hervor. Versetzt man jetzt die Mischung mit 100—200 mg Kochsalz und nimmt die Probe von neuem vor, so bleibt die gelbe Färbung bei Zusatz des kohlensauren Natrons aus, und um dieselbe wieder zum Vorschein zu bringen, mufs man $1\frac{1}{2}$—$2\frac{1}{2}$ ccm der Quecksilberlösung mehr zusetzen. In einer Lösung von 200 mg Harnstoff und 100 mg Kochsalz in 10 ccm Wasser, welcher man 20 ccm Quecksilberlösung zusetzt, ist der Überschufs des Quecksilbersalzes, welcher beim Zusatz von kohlensaurem Natron die gelbe Färbung gegeben haben würde, nicht in der Form von salpetersaurem Salz, sondern als Sublimat enthalten..... Die Mischung der Harnstofflösung mit der Quecksilberlösung enthält den gröfsten Teil der Salpetersäure der letztern im freien Zustande. Durch diese Salpetersäure wird ein Teil des kohlensauren Natrons in doppeltkohlensaures übergeführt, welches den Sublimat nicht fällt.«[1] Da bei der Titriermethode, die jetzt beschrieben werden soll, weder Salpetersäure noch kohlensaures Natron in Anwendung kommt, so kann sich die Beobachtung Liebigs bezüglich des Sublimats und des doppeltkohlensauren Natrons in keiner Weise auf diese Methode beziehen.

Während der Titer der Liebigschen Quecksilbernitrat-Lösung auf 10 ccm einer 2 proz. Harnstofflösung gestellt ist, so dafs 20 ccm der Titrierflüssigkeit und 10 ccm der Harnstofflösung mit Na_2CO_3 eine deutliche Gelbfärbung geben, habe ich die Sublimat-Titrierflüssigkeit auf 10 ccm einer $\frac{1}{2}$proz. Lösung von Harnstoff in Amylalkohol gestellt. Eine derartige Bereitung der Titrierlösung beruhte auf der Thatsache, dafs der Harnstoffgehalt des menschlichen Urins um mehr als das Zweifache überschätzt worden ist, wie wir schon gezeigt haben und leicht nach-

1) Siehe die letzte Anmerkung.

geprüft werden kann. Wenn ferner der Titer statt auf 10 ccm einer 1 proz. auf 10 ccm einer $^1/_2$ proz. Harnstofflösung gestellt worden ist, so geschah dies, um die Ausführung der Analyse zu erleichtern, wie in der Folge gezeigt werden soll.

Die Concentration der Titrierflüssigkeit wurde auf empirischem Wege, nach einer Reihe von vielen Versuchen, festgestellt. Diese Versuche haben ergeben, dafs jeder Cubikcentimeter der Quecksilberchlorid-Lösung 76 mg $HgCl_2$ enthalten mufs, wenn 5 ccm der titrierten Flüssigkeit 50 mg Harnstoff in 10 ccm Amylalkohol anzeigen sollen. Ein Vergleich zwischen dieser und der Liebigschen Quecksilberlösung zeigt, dafs bei der letzteren mehr Quecksilber nötig ist als bei der Sublimatlösung; denn bei der Liebigschen Titrierflüssigkeit kommen auf 1 l Wasser 77,2 g $HgO = 71{,}48$ g Hg, während 1 l der Sublimatlösung 76,0 g $HgCl_2 = 56{,}08$ g Quecksilber enthält. Bei der Sublimatlösung werden 10 mg Harnstoff thatsächlich durch 76 mg $HgCl_2$ angezeigt, hingegen kommen bei Liebigs Quecksilberlösung 115,79 mg $Hg(NO_3)_2$ auf 10 mg Urea, also im ersteren Falle $7^1/_2$, im letztern $11^1/_2$ Gewichtsteile Quecksilbersalz auf 1 Gewichtsteil Urea. Bei der Fällung der $CON_2H_4 . HgCl_2$-Verbindung mit KHO enthält der Niederschlag $3\,HgO + \overset{+}{U}$; folglich sollten zur Fällung von 1 Gewichtsteil Harnstoff 5,4 Gewichtsteile HgO genügen $\left(\frac{648 : 60}{2} = 5{,}4\right)$, so dafs auf 10 mg Urea 54 mg HgO, entsprechend 67,75 mg Quecksilberchlorid kommen müfsten. In derselben Weise also, wie bei Liebigs Lösung statt der theoretischen 72 mg HgO die empirischen 77,2 mg HgO zur Anzeige von 10 mg Urea nötig sind, so enthält jeder Cubikcentimeter der Sublimat-Titrierflüssigkeit statt der berechneten 67,75 mg $HgCl_2$ die auf empirischem Wege bestimmten 76 mg $HgCl_2$; der Überschufs von 8,25 mg $HgCl_2$ in jedem Cubikcentimeter Sublimatlösung dient zur Erkennung der gelben Endreaktion mit KHO.

Die Bereitung der Titrierflüssigkeit bietet keinerlei Schwierigkeiten. Man nimmt 7,6 g reines Sublimat und löst es in 50 oder 60 ccm wasserhaltigem Alkohol auf, der aus 95 Teilen Äthylalkohol und 5 Teilen Wasser besteht; diese Lösung wird

dann mit demselben wasserhaltigen Alkohol auf 100 ccm verdünnt.[1]) Oder man wiegt eine beliebige Quantität Sublimat ab und löst sie in so viel Alkohol von 95° auf, dafs 1 ccm der Lösung 76 mg $HgCl_2$ enthält. War das Quecksilbersalz rein und genau abgewogen, so zeigen 5 ccm der Lösung 50 mg Urea in 10 ccm Flüssigkeit an, so dafs ein Tropfen der Urea-Sublimatmischung mit einem Tropfen einer 10proz. KHO-Lösung in einigen Augenblicken eine deutliche Gelbfärbung gibt, die durch Ausscheiden von orangegelbem Quecksilberoxyd erzeugt wird.

Zur Bereitung der KHO-Lösung ist es am zweckmäfsigsten, 5 g Kali Causticum in 45 ccm Amylalkohol oder eine beliebige Quantität Kali in der entsprechenden Menge von Fuselöl aufzulösen; da Kaliumkarbonat in Amylalkohol ganz unlöslich ist, so wird es sogleich ausgeschieden, wenn das Kali Causticum aus der Luft Kohlensäure absorbiert hat.

Zur Oxydierung des Urins mit Permanganat bediente ich mich einer 3proz. Lösung von Zinkpermanganat in Wasser; es wurden 30 g käufliches Zinkpermanganat, ohne sie vorerst durch Hitze zu trocknen, in genug Wasser gelöst, um das Volumen auf 1 l zu bringen.

Die Harnstoffbestimmung durch mäfsige Oxydation des Urins und Titrierung des Harnstoffs in Amylalkohol mit Sublimat wird in der folgenden Weise ausgeführt: 20 ccm Urin werden mit Natroncarbonat oder verdünnter Salpetersäure, je nachdem der Urin sauer oder alkalisch ist, neutralisiert, auf etwa 50° C. erwärmt und mit 10—15 ccm 3proz. Zinkpermanganatlösung, die ebenfalls auf etwa 50° gewärmt ist, vermengt. Die Mischung wird bei 50° gehalten, und so lange mit je 1—2 ccm Permanganatlösung behandelt, bis eine deutliche Rotfärbung, die einen Überschufs von $ZnMn_2O_8$ zeigt, 5 Minuten lang zu sehen ist; während

1) Selbst in einer offenen Bürette läfst sich keine Abnahme dieser Titrierlösung durch Verdunstung während der Zeitdauer der Titrierung wahrnehmen. Bevor eine Analyse gemacht wird, mufs man sich überzeugen, dafs 5 ccm der titrierten Sublimatlösung 0,05 g Harnstoff in 10 ccm Äthyl-Amylalkohol anzeigen; eine $^1/_2$-proz. Harnstofflösung in 90 Teilen Amyl- und 10 Teilen Äthylalkohol läfst sich zu diesem Zwecke in einer gut verkorkten Flasche beliebig lange aufbewahren.

der ganzen Dauer der Permanganatbehandlung wird häufig umgerührt, am besten mit einem Thermometer, der zu gleicher Zeit auch die Temperatur der Mischung anzeigt. Der Überschufs von $ZnMn_2O_8$ wird am einfachsten durch einige Tropfen Alkohol bei 50° C. neutralisiert. Der oxydierte Harn wird in ein Mefsglas übergossen, und die Hälfte davon abfiltriert; da das Filtrat um ein Geringes mehr als die Hälfte beträgt, indem der Braunstein und das Zinkhydroxyd in der andern Hälfte zurückbleiben, so kann der Unterschied dadurch womöglich ausgeglichen werden, dafs der Überrest in der Abdampfschale mit Wasser nicht nachgespült und zum oxydierten Harn nicht zugefügt wird. Das Filtrat, das 10 ccm Urin entspricht, wird bei etwa 50° abgedampft.

Das Residuum wird nun mit 10 ccm Äthyl-Amylalkohol, der aus 9 Teilen Amyl- und 1 Teil Äthylalkohol besteht, bei gewöhnlicher Temperatur gut verrieben, und die Flüssigkeit in ein Mefsglas dekantiert; es wird noch 2—3 mal mit dem Äthyl-Amylalkohol nachgewaschen, so dafs der ganze alkoholische Auszug 20 ccm beträgt.

Nachdem das Volumen des Auszuges festgestellt ist, wird er mit einem Glasstabe gut umgerührt, und die Hälfte in ein kleines Mefsglas von 10 oder 15 ccm abfiltriert. Wir haben somit 10 ccm Flüssigkeit, welche 5 ccm Harn entsprechen; auf diese Art ist das langwierige Auswaschen des Filters und der damit verbundene unvermeidliche Verlust vermieden worden. Nun giefst man den Äthyl-Amylalkoholauszug in ein Becherglas über und spült mit einigen Tropfen Amylalkohol 1—2 mal nach. Bevor man mit Sublimat titriert, wird die amylalkoholische Flüssigkeit mit 3—4 Tropfen der oben erwähnten Lösung von Kaliumhydroxyd in Fuselöl deutlich alkalisch gemacht; eine gröfsere Beimengung von KHO würde das Resultat der Analyse ändern. Um die Ausführung der Analyse zu beschleunigen, berechnet man vorerst, wie viele Cubikcentimeter von der Sublimatlösung man zur Titrierung wahrscheinlich gebrauchen wird. Dies geschieht in der folgenden Weise: Man dividiert die letzten zwei Ziffern des spez. Gewichtes des Urins durch 3 und erhält dadurch annähernd

die Anzahl von Cubikcentimetern Sublimatlösung, die auf den Harnstoff von 10 ccm Urin kommen würden; da aber die amylalkoholische Flüssigkeit, die titriert werden soll, nur 5 ccm Harn entspricht, so zeigt die Hälfte der erhaltenen Zahl die Anzahl der Cubikcentimeter Sublimatlösung an, die man ungefähr nötig haben wird. (Z. B. der Harn hat ein spez. Gewicht von 1021; $\frac{21:3}{2} = 3^1/_2$ ccm Sublimatlösung auf 5 ccm Harn. Oder, das spez. Gewicht ist 1030; $\frac{30:3}{2} = 5$ ccm Sublimat auf 5 ccm Urin. Noch einfacher ist es natürlich, die letzten zwei Ziffern des spez. Gewichts gleich durch 6 zu dividieren.) Man fügt nun zur deutlich alkalisch gemachten äthyl-amylalkoholischen Flüssigkeit um $^1/_2$ ccm weniger Sublimatlösung hinzu als voraus berechnet wurde und vermengt die beiden Lösungen durch Umrühren mit einem Glasstabe. Nachdem sich der entstandene weifse, flockige Niederschlag etwas gesetzt hat, bringt man 1—2 Tropfen der 10 proz. KHO-Lösung auf ein Uhrglas und läfst vom Rande des Uhrglases einen Tropfen der Harnstoffsublimatmischung gegen den KHO-Tropfen fliefsen; aller Wahrscheinlichkeit nach wird jetzt die Berührungsstelle der beiden Tropfen durch die Ausscheidung von Sublimat-Urea eine ganz weifse Farbe erhalten, woraus ersichtlich ist, dafs in der äthyl-amylalkoholischen Mischung noch freier Harnstoff vorhanden ist. Es wird nun zur Ureasublimatmischung zu je $^1/_{10}$ ccm von der titrierten Sublimatlösung hinzu gethan und jedesmal die erwähnte Probe mit KHO auf dem Uhrglase gemacht. Man hält zu diesem Zwecke einige Uhrgläser bereit, doch lassen sich auch 2 oder 3 Proben auf demselben Uhrglase ausführen, wenn man die Tropfen der Harnstoff-$HgCl_2$-Mischung von verschiedenen Punkten des Uhrglasrandes gegen den Mittelpunkt fliefsen läfst; da Amylalkohol nur sehr langsam, langsamer wie Wasser, verdunstet, so lassen sich die Proben auf solche Art ausführen. Sobald aller Harnstoff sich mit Sublimat vereinigt hat, nimmt die Berührungsstelle des Ureasublimattropfens und des Indikators eine gelbliche Färbung an; diese Gelbfärbung mufs in einigen Augenblicken, in weniger als einer Minute ein-

treten, sonst kann sie nicht als Endreaktion betrachtet werden. Da die Endreaktion am deutlichsten auf schwarzer Unterlage zu erkennen ist, so ist es zweckmäfsig, die Uhrgläser auf eine solche zu setzen. Ich mufs hier betonen, dafs der Titer der Sublimatlösung so gestellt wurde, dafs 5 ccm derselben 50 mg Harnstoff in 10 ccm Flüssigkeit nur dann anzeigen, wenn bei der Titrierung alle Bedingungen genau so ausgeführt werden, wie sie hier erwähnt worden sind.

Nach der soeben beschriebenen Titrierungsmethode mittels Quecksilberchlorid und Kaliumhydroxyd sind die folgenden Analysen ausgeführt worden, bei denen der Harn von verschiedenen erwachsenen und wohlgenährten Personen benutzt wurde. Bei der ersten Analyse wurde vor allem der Harnstoffgehalt nach der Methode von Liebig-Pflüger bestimmt, und dann der annähernd wahre Harnstoffgehalt durch die Permanganat-Quecksilberchlorid-Methode festgesetzt. Bei den andern Analysen hingegen wurde die Titrierung mit der Liebigschen Lösung dazu verwendet, um den ganzen Stickstoffgehalt des Urins in Harnstoff ausgedrückt zu bestimmen, indem die Fällung des Urochroms und anderer Harnbestandteile mittels Silbernitrats unterlassen wurde. Um den Prozentsatz des Harnstoffs im Sinne der bis jetzt gebräuchlichen Berechnung zu bestimmen, wurden die Ergebnisse der Untersuchungen von Pflüger und Bohland, Bödtker und Sjöquist in Anbetracht gezogen.[1]) Nach Pflüger und Bohland entfallen auf den Harnstoff im Mittel 86,6 % des Gesamtstickstoffes (bei gesunden und erwachsenen Personen), nach Bödtker 90,16 %, nach Sjöquist 91 %, was eine Mittelzahl von 89,25 % ergibt. Durch Vergleiche dieser Bestimmungen mit den Resultaten der Zinkpermanganat-Quecksilberchlorid-Methode konnte dargelegt werden, wie sehr der Harnstoffgehalt des menschlichen normalen Urins bis jetzt überschätzt worden ist.

I. Harn von 8 Uhr abends; spez. Gewicht 1034, Reaktion schwach alkalisch.[2])

1) Neubauer u. Vogel, 1898, S. 290.

2) Der Harn wurde bis zum nächsten Morgen auf Eis gestellt; auch bei den andern Analysen wurde er so präserviert.

a) Bestimmung nach Liebig-Pflüger:

V_1	Harnbaryt-Mischung	15 ccm
	$AgNO_3$-Lösung (und Wasser)	20 »
	Na_2CO_3-Lösung	22 »
		57 ccm.

V_2 (Anzahl der ccm Liebigscher Titrierflüssigkeit) $= 26{,}5$

$$V_1 - V_2 = 30{,}5$$

$$- 30{,}5 \times 0{,}08 = - 2{,}44 \text{ (Korrektur-Ziffer).}$$

Somit ist der Harnstoffgehalt dieses Urins nach der Methode von Liebig-Pflüger $\frac{26{,}5 - 2{,}44}{10} = 2{,}4\,\%$.

b) Bestimmung mittels der $ZnMn_2O_8$-$HgCl_2$-Methode:

20 ccm Harn zersetzten 19 ccm einer 3 proc. Zinkpermanganatlösung (bei 50° C. in 5—6 Minuten). Die Hälfte der Mischung, entsprechend 10 ccm Harn, wurde abfiltriert, bei etwa 50° C. auf dem Wasserbade abgedampft und in der beschriebenen Weise mit Äthyl-Amylalkohol behandelt. Der alkoholische Auszug betrug 24 ccm; davon wurden 12 ccm (= 5 ccm Urin) abfiltriert, mit vier Tropfen KHO-Lösung alkalisch gemacht und mit der Sublimatlösung titriert. Da das spec. Gewicht dieses Harns 1034 betrug, so fügte ich vor allem $\frac{34}{6} - \frac{1}{2}$ ccm von der titrierten Sublimatlösung hinzu, also 5,1 ccm. Nach weiterem Zusatze von 0,3 ccm (zu je 0,1 ccm) trat die Endreaktion ein, so dafs 5 ccm Urin 5,4 cg Harnstoff enthielten, was einem Procentsatz von 1,08 % Harnstoff gleichkam.

II. Harn von 24 Stunden; spec. Gewicht $1022^1/_2$, Reaktion sauer. Gesamtstickstoff nach Liebig 1,82 % (nach Fällung mit Baryt, aber ohne Silberfällung und ohne Korrektur).

Harnstoffgehalt nach der bisherigen Berechnung

$$\frac{1{,}82 \times 89{,}25}{100} = 1{,}62\,\%.$$

Resultat der Titrierung mit Sublimat **0,8 %** Harnstoff.

III. Urin von 24 Stunden; spec. Gewicht 1023, Reaktion sauer. Gesamtstickstoff nach Liebig 2,17 %,

$$\text{Harnstoff} = \frac{2,17 \times 89,25}{100} = 1,93\,\%.$$

Annähernd wirklicher Harnstoffgehalt 0,98 %.

IV.[1]) Urin von 11 h vormittags; spec. Gew. 1020, Reaktion sauer. Gesamtstickstoff 1,9 %; Harnstoff 1,7 %.

Resultat der Oxydation mit Zinkpermanganat und Titrierung mit Quecksilberchlorid 0,77 % Harnstoff.

V. Urin von 6 h nachmittags; spec. Gew. 1032, Reaktion schwach sauer. Gesamtstickstoff 2,9 %; Harnstoff 2,58 %.

Die Titrierung mit Sublimat ergibt einen Harnstoffgehalt von **1,05** %, also nur 36,2 % des Gesamtstickstoffes.

VI. Urin von 1 h nachmittags; spec. Gew. 1017½, Reaktion stark sauer. Gesamtstickstoff 1,44 %; Harnstoff 1,28 %.

Annähernd wirklicher Harnstoffgehalt 0,64 %.

VII. Dieser Harn ist von einem ungewöhnlich stark gebauten 32jährigen Manne, dessen Nahrung vorzugsweise aus Fleisch und Eiweifsstoffen, wie Käse und Eier, besteht. Der Harn war von 11 h vormittags, hatte ein spec. Gewicht von 1028 und reagierte sauer. Sein Gesamtstickstoff nach Liebig betrug 3,2 %;

$$\text{Harnstoff} = \frac{89,25 \times 3,2}{100} = 2,85\,\%.$$

Der annähernd wirkliche Harnstoffgehalt betrug 1,32 %, also nur 41,25 % des Gesamtstickstoffes in Harnstoff ausgedrückt.

Ein nicht zu unterschätzender Vorteil der Permanganat-Quecksilberchlorid-Methode ist der Umstand, dafs die wichtigeren Bestandteile des Harns, das Urochrom, das Kreatinin, die Hippursäure und die Harnsäure das Resultat der Analyse nicht beeinträchtigen. Was das Urochrom betrifft, ist es auch nach der Oxydation im Äthyl-Amylalkohol unlöslich, wie die vollkommene Farblosigkeit des Auszuges beweist.

---

1) Urin III und IV sind von derselben Person; die andern sind von verschiedenen erwachsenen und gesunden Individuen.

Das Kreatinin wird durch die mäfsige Oxydation des Harns nicht verändert, sondern ist als solches im Rückstande nach der Abdampfung des oxydierten Harns vorhanden. Da es aber sowohl im Alkohol wie im Fuselöl nur sehr schwer löslich ist, beeinträchtigt es die Analyse in keiner Weise, wie aus dem folgenden Versuche ersichtlich ist: 10 mg Kreatinin (von E. Merck) wurden mit 2 ccm absolutem Alkohol verrieben, dann mit 4 ccm Amylalkohol vermengt, und hierauf die klare Flüssigkeit dekantiert. Zur letzteren wurden nun 2—3 Tropfen von der titrierten Sublimatlösung gethan; es entstand keinerlei Trübung, wohl aber ein citronengelber Niederschlag nach Zusatz von etwas KHO. Da das Kreatinin mit Quecksilberchlorid sofort einen weifsen käsigen Niederschlag bildet, so war der citronengelbe Niederschlag von Quecksilberoxyd ein Beweis, dafs entweder gar kein Kreatinin oder nur Spuren davon im Äthyl-Amylalkohol vorhanden waren. —

Die Hippursäure verbindet sich zwar nicht mit $HgCl_2$, doch könnte sie unter Umständen das Resultat der Analyse ändern, wie ich durch einige Versuche beobachtete. Ich löste z. B. 100 mg reiner Hippursäure in Alkohol auf und setzte 0,3 ccm $HgCl_2$-Lösung hinzu; es bildete sich kein Niederschlag. Auch nach Zusatz von 3 Tropfen Kalihydrat-Lösung blieb die Flüssigkeit klar, und erst bei weiterem Zusatz von einigen Tropfen Kali zeigte sich ein geringer, gelblicher Niederschlag. Da eine Lösung von Hippursäure stark sauer reagiert, so wollte ich auch das Verhalten einer alkalischen Hippursäurelösung dem Quecksilberchlorid gegenüber beobachten.

Ich nahm also 20 mg reiner Hippursäure, löste sie in wasserhaltigem Alkohol auf und machte die Lösung mit einigen Tropfen KHO deutlich alkalisch. Diese alkalische Hippursäurelösung gab mit 2 Tropfen der titrierten Sublimatlösung sofort einen stark gelben Niederschlag. Aus dieser Beobachtung war ersichtlich, dafs die Hippursäure in alkalischer Lösung auf das Resultat der Harnstoffbestimmung keinen störenden Einflufs hat. Das Verhalten dieses Körpers zum HgC_2 war auch die Ursache, weshalb ich den äthyl-amyl-

alkoholischen Harnauszug mit 3—4 Tropfen Kalihydrat alkalisch machte, bevor ich die Titrierung mit Sublimat vornahm; für das Ergebnis der Harnstoffbestimmung selbst wäre es sonst von keinem Belang, ob die zu titrierende Flüssigkeit neutral oder etwas alkalisch reagiert. Das erwähnte Verhalten der Hippursäure könnte man vielleicht dadurch erklären, dafs sich das Kaliumhydroxyd mit der Hippursäure zu hippursaurem Kali, $KC_9H_8NO_3 + H_2O$ vereinigt, so dafs die Fällung von gelbem Quecksilberoxyd erst dann stattfinden kann, wenn ein Überschufs von KHO vorhanden ist. —

Was die Harnsäure betrifft, so wird dieselbe durch Permanganat zu Allantoin oder zu Uroxansäure oxydiert.

Das Allantoin bildet zwar mit Quecksilberchlorid und Kalihydrat einen weifsen flockigen Niederschlag, ist aber in Äthyl-Amylalkohol ganz unlöslich. 100 mg Allantoin (Merck) wurden mit 2 ccm Alkohol und 4 ccm Fuselöl gut vermengt. Ein Tropfen Sublimat verursachte in der dekantierten Flüssigkeit keinerlei Trübung; hingegen bildete sich bei Zusatz von 2—3 Tropfen Kalilösung ein Niederschlag von citronengelbem Quecksilberoxyd, wodurch die Abwesenheit von Allantoin in der dekantierten Flüssigkeit bewiesen war. — Uroxansäure stand mir nicht zur Verfügung, doch war es keinesfalls notwendig, ihr Verhalten zu $HgCl_2$ zu untersuchen; es kam ja nur darauf an, das Verhalten von oxydierter Harnsäure zu beobachten, was das Oxydationsprodukt auch sein mochte. 20 mg reiner Harnsäure in 10 ccm Wasser wurden daher mit einer 3 proz. Zinkpermanganatlösung bei etwa 45° C. oxydiert. Da die filtrierte Mischung blaues Lackmuspapier rot färbte, konnte die Harnsäure nicht zum neutral reagierenden Allantoin, sondern eher zur Uroxansäure oxydiert worden sein. Das Filtrat wurde abgedampft, der Rückstand mit 2 ccm Alkohol und 4 ccm Fuselöl verrieben, und die äthyl-amylalkoholische Flüssigkeit dekantiert. Bei Hinzufügung zur letzteren von 1 Tropfen Sublimat blieb die Mischung klar, wurde jedoch deutlich gelb bei Zusatz von 1 Tropfen KHO. Ich machte nun die Mischung mit 3 Tropfen KHO deutlich alkalisch und erhielt bei Zusatz von 2 Tropfen

titrierter $HgCl_2$-Lösung einen reichlichen citronengelben Niederschlag von HgO. Somit ist die oxydierte Harnsäure im Äthyl-Amylalkohol entweder unlöslich, oder sie verbindet sich nicht mit Quecksilberchlorid.

Die wichtigeren Harnbestandteile, das Urochrom, das Kreatinin, die Hippursäure und Harnsäure verursachen also keinen Irrtum bei der Harnstoffbestimmung mittels der Zinkpermanganat-Quecksilberchlorid-Methode. Da es jedoch möglich ist, dafs Spuren dieser Substanzen, sowie auch andere organische Harnbestandteile mit dem Harnstoff in Lösung übergehen, wäre es vielleicht besser, bei concentrierten Urinen 0,02 % und bei weniger concentrierten 0,01 % vom Resultate der Analyse abzuziehen; ob dies aber notwendig ist, müssen erst eingehende Untersuchungen zeigen.

Fassen wir nun das bisher Gesagte in Kürze noch einmal zusammen:

1. Die Liebig-Pflügersche Methode bezieht sich nicht auf den Gesamtstickstoff des Harns, da durch die Baryt- und Silberfällung das Hämatoporphyrin, das Urochrom, Xanthinbasen, ein Teil der Harnsäure, Farbstoffe und Sulfocyanwasserstoff gefällt werden; die Resultate der andern Methoden stehen deshalb denen der Liebig-Pflügerschen ganz nahe.
2. Das Gewicht des vorsichtig extrahierten Harnstoffs entspricht dem vermeintlichen Harnstoffgehalt des Urins.
3. Der extrahierte Harnstoff zersetzt bei gewöhnlicher Temperatur in den meisten Fällen mehr als die Hälfte seines Gewichtes krystallisiertes Kaliumpermanganat.
4. Diese leichte Oxydierbarkeit des alkoholischen Harnextrakts kann weder durch die Gegenwart von Harnstoff, noch durch die Harnsäure, das Kreatinin, die Hippursäure oder durch das Urochrom bedingt sein.
5. Der leicht oxydierbare Bestandteil des Harnextraktes kann selbst durch Amylalkohol vom Harnstoff nicht getrennt werden, trotzdem er im Amylalkohol unlöslich, während der Harnstoff in demselben löslich ist.

6. Nach mäſsiger Oxydation des neutralen Harns mit Zinkpermanganat kann der Harnstoff durch Äthyl-Amylalkohol frei von Beimengungen extrahiert werden.
7. Der äthyl-amylalkoholische Auszug des Harns wird am zweckmäſsigsten mit einer Lösung von Quecksilberchlorid in Alkohol von 95° titriert, wobei eine 10 proz. Lösung von Kaliumhydroxyd in Amylalkohol als Indikator dient.
8. Der Harnstoffgehalt des menschlichen normalen Harns ist bis jetzt mindestens um das Doppelte überschätzt worden. —

Notwendigerweise entsteht jetzt die Frage: Was tritt an Stelle des Vakuums, welches im menschlichen Harn durch die Bestimmung des wahren Harnstoffgehaltes entstanden ist?

Diese Frage will ich demnächst in einer zweiten Mitteilung zu beantworten suchen.

Aus dem physiologischen Institut der tierärztlichen Hochschule in Dresden.
Direktor Geheimrat Prof. Dr. Ellenberger.

Untersuchungen über die Spannungszustände der Bauchwand, der Magen- und der Darmwand.

Von

Dr. **Georg Kelling**, Dresden.

(Mit Tafel I bis V.)

Die Untersuchungen über die physikalischen Verhältnisse der Magenwand und in zweiter Linie auch der Darmwand sind von mir im Jahre 1891 begonnen worden. Sie sind dann mehrfach erweitert worden und die Resultate sind verstreut in verschiedenen meiner Publikationen enthalten. In der vorliegenden Arbeit wurde das Material vervielfältigt, durch neue Versuche ergänzt, und vom physiologischen Standpunkte aus zusammengefafst. Der Stoff ist eingeteilt in:

A. Historisches,
B. Methodik,
C. die mechanischen Verhältnisse der Bauchhöhle,
D. Untersuchungen an freiliegenden lebenden und toten Mägen,
E. Vitalkapacität beim Menschen,
F. Vagus, Sympathicus,
G. druckregulierende Nerven, Druck und Resorption,
H. Beeinflufsung des Tonus; reflektorische Erschlaffung, die Atonie des Magens, negativer Druck.

A.

Die Anatomen haben am Magen- und Darmkanal, wie an den übrigen Organen beschrieben: die Lage, Form und Gröfse und die Dicke der Wände, und sowohl für das ganze Organ, als

auch für die einzelnen das ganze Organ zusammensetzenden Gewebe. Hingegen sind die physikalischen Eigenschaften der Wände, die Elasticität, Dehnbarkeit und Festigkeit von ihnen fast gar nicht berücksichtigt worden. Man erkennt dies am deutlichsten aus den Volumensbestimmungen, welche die Anatomen für den Magen ausgeführt haben. Sie geben z. B. an:

Henle	2500—5500	ccm
Soemmering	2500—5500	»
Brinton	3130	»
Beneke	3000	»
Vierordt	2980	»
Schüren	2430	»
Luschka	1500—2000	»
Ewald	250—1680	»
Legendre	1300	» [1])

Also in der Breite von $^1/_4$—$5^1/_2$ l soll die Gröſse des normalen Magens schwanken. Die Differenzen erklären sich zum gröſsten Teil aus der verschiedenen und physikalisch meist ganz unrichtigen Methodik. Ewald goſs die ausgeschnittenen Mägen mit flüssigem Rindstalg aus. Luschka blies den Magen durch Luft »mäſsig« auf, trocknete ihn dann und füllte ihn nachher zur Bestimmung der Kapacität mit Wasser. Schüren hingegen blähte den Magen ad maximum auf. Andere füllten den Magen mit Wasser. Die meisten geben überhaupt nicht an, wie sie zu ihren Werten gekommen sind. Und doch ist es klar, daſs bei einem Hohlorgan wie der Magen, welcher ein wechselndes Volumen von Null bis ad maximum hat, ein Kapacitätswert nur dann eine Bedeutung hat, wenn die Bedingungen, unter denen er erhalten wird, also hier besonders der Innendruck, dabei angegeben werden. In der pathologischen Anatomie steht aber die Sache auch nicht besser wie in der normalen Anatomie, und infolgedessen finden wir hier für die Kapacität der dilatierten Mägen die verschiedensten und schwer mit einander vergleichbaren Werte.

---

1) Legendre, Thèse de Paris 1886. (Mittel aus 60 erwachsenen Leichen.)

So geben an[1]) als Fassungsvermögen für erweiterte Mägen Spigelius (1623) $6^1/_2$ l, Plempius 5 l, Stenzel (1723) 12 Maſs, Schurich (1725) 18 Pfund Wasser, Portal $4^1/_2$ l. Von neueren Autoren geben an: Blumenthal[2]) 8 l, Unger Vetlesen[3]) $5^1/_4$ und $6^1/_4$ l, Serain[4]) berichtet über einen dilatierten Magen, der in der Leiche 5 l Flüssigkeit enthielt neben gröſseren Mengen Gas. Eichhorst in seinem Lehrbuch der speciellen Pathologie und Therapie citiert Jodan (I, S. 742), nach welchem ein Magen 90 Pfund (unglaublich) Flüssigkeit gefaſst haben soll.

Der dilatierteste Magen, den ich in meiner Praxis beobachtet habe, gehörte einem 71 jährigen Manne an und faſste im ausgeschnittenen Zustande bei 1 m Wasserdruck $6^1/_2$ l. Nehmen wir die neuesten Lehrbücher der Magenkrankheiten, so geben dieselben Kapacitätswerte überhaupt nicht mehr an. Es liegt dies daran, daſs die neuere Magen-Diagnostik hauptsächlich auf die Funktion gerichtet war. Da man nun bei groſsen und kleinen Mägen dieselben Funktionsstörungen beobachten konnte, so hat man die Magengröſse als etwas irrelevantes nicht beachtet. So sind es auch in neuerer Zeit nur wenig Autoren, welche sich der Mühe unterzogen haben, in dieser Beziehung genaue physikalische Untersuchungen anzustellen. Hier ist als erster Fleischmann zu nennen, der 1875 mit einer rationellen Methode die anatomische Kapacität von Säuglingsmägen bestimmte.[5]) Fleischmann füllte die Mägen mit Luft, berücksichtigte aber dabei die Spannung der Magenwand, indem er einen bestimmten Druck herstellte. Nach dieser Methode arbeiteten Frolowsky[6]), Henschel[7]) und Drewitz.[8])

---

1) Cit. nach Penzoldt, Die Magenerweiterung. Habilitationsschrift. Erlangen 1875.

2) Cit. bei Leube, Ziemſsens Handb. VII. 2. 1878, S. 215.

3) Nord. Magazin fr. Lägevidenskoben S. 87—89.

4) Schmidts Jahrbücher 28, S. 137.

5) Klinik der Pädiatrik. Wien 1875.

6) Materiale zur Anatomie des Verdauungstractus des Säuglings. Diss. Petersburg 1876.

7) Archiv f. Kinderheilkunde Bd. 13.

8) Der Säuglingsmagen. Dissert. München 1891.

Die erste wissenschaftlich richtige Methode zur Messung der Kapacität lebender Mägen stammt von Jaworski[1]). Dieser füllte den vorher entleerten Magen so lange mit Luft, bis der Patient ein Gefühl schmerzhafter Spannung empfand und mafs die eingeführte Luftmenge und zugleich an einem Wassermanometer den Spannungsdruck. Ich habe dann 1891 eine Methode angegeben, nach welcher die zum Aufblähen verwendete Luftmenge erst nach dem Absaugen gemessen wird. Dies hat den Vorteil, dafs keine durch Cardia und Pylorus entwichene Luft für die Messung verloren geht.[2]) Ich habe dann 1895[3]) eine Methode angegeben, die Magenkapacität auch in Wasser zu messen, unter Berücksichtigung der Niveauhöhe des eingeführten Wassers. Ferner wurde von mir 1891 darauf hingewiesen und 1895 durchgeführt, dafs die Füllung des Magens bis zu einem gewissen Druck noch nicht genügt, um sich über die Dehnungsverhältnisse seiner Wandung klar zu werden. Man mufs vielmehr gradatim unter jeweiliger Bestimmung des Druckes das Volumen vergröfsern und aus Volumen und Druck eine Dehnungskurve herstellen. Später hat das Princip auch Pfaundler[4]) (1898) in seiner ausführlichen Arbeit über den Säuglingsmagen angewendet. Der Zweck aller dieser Arbeiten war in erster Linie ein praktischer; es sollte der Grad der Erschlaffung und Erweiterung des Magens diagnosticiert werden; für den Säuglingsmagen war auch ein therapeutischer Gesichtspunkt vorhanden. Man wollte durch die Kapacitätsbestimmungen eine rationelle Dosierung der Einzelmahlzeiten ermöglichen.

Der Mageninnendruck bei normalen Verhältnissen ist nur von wenig Autoren untersucht worden. Moritz[5]) fand, dafs der Mageninnendruck sehr variabel ist und hauptsächlich von den Nachbarorganen verursacht wird. Ich habe dann 1895[6]) den Nachweis besonderer die Oberflächenspannung regulierender

1) Deutsches Archiv f. klin. Med. 1884, Bd. 35 S. 83.
2) Deutsche med. Wochenschr. 1892, No. 51, 52.
3) Volkmanns Sammlung klin. Vorträge No. 144.
4) Bibliotheca medica. D 1 H 5, Über Magenkapacität und Gastrektasie.
5) Zeitschr. f. Biol. 1895, Bd. 32.
6) Jahresber. d. Ges. f. Natur u. Heilk. zu Dresden 1895—96, S. 24.

Nerven geführt, und gezeigt, dafs innerhalb gewisser Grenzen der Druck unabhängig von der Füllung und von gewissen peristaltischen Bewegungen ist.

Was nun die Physiologie anbetrifft, so werden in dieser ja physikalische Begriffe sehr häufig angewendet. Für den Magendarmkanal aber, wo die groben physikalischen Eigenschaften für die Erklärung der Funktionen nicht wichtig erschienen, bringen die Lehrbücher der Physiologie nur die Beschreibung der Motilität, Sensibilität, Sekretion, Resorption und der Blut- und Lymphcirkulation. Mehrere Autoren haben allerdings physikalische Eigenschaften, z. B. Kraft und Tonus der Muskulatur bestimmt, den Gesamtdruck haben aber nur folgende berücksichtigt: J. F. Müller[1]) fand (1884) bei Kaninchen, dafs der Innendruck im Magen trotz der Entleerung des Chymus durch den Pylorus konstant bleiben kann. Leubuscher[2]) zeigte, dafs die Resorption im Darm durch Erhöhung des Druckes gesteigert werden kann. Endlich fand Hamburger[3]) 1896, dafs die Resorption im Darm eine Funktion des positiven intraintestinalen Druckes ist und dafs ohne solchen keine Resorption zu stande kommt.

B. Methodik.

Eine Untersuchung der Dehnbarkeit und Elasticität einer Membran, wie sie etwa die Magenwand ist, kann Resultate nur ergeben, wenn man bei verschiedener Dehnung der Wandung, die jedesmal für die betreffende Formveränderung notwendige Kraft bestimmt. Bei einem Hohlorgan gelingt dies am einfachsten, indem man bei zunehmender Vergröfserung des Volumens den Innendruck mifst. Die Sache wird sofort übersichtlich, wenn man eine Kurve konstruiert. Auf der Abscisse wird das vergröfserte Volumen und auf der Koordinate die Wandspannung gemessen durch den Innendruck aufgetragen. Man kann auch umgekehrt den Druck als Abscisse und das Volumen als Koordinate auftragen. Es macht dies insofern keinen Unterschied, als

1) Dissert. Utrecht 1884.

2) Jenaische Zeitschr. f. Naturwissensch. 1885.

3) Archiv f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abteil. 1896, S. 428.

man durch Drehung des Bildes nach links um 90° sofort aus der Kurve des Druckes bei Vergröfserung des Volumens, die Kurve des Volumens bei Vergröfserung des Druckes erhalten kann. Als Material zur Füllung des Hohlraums kann nur Wasser oder Luft in Frage kommen. Benutzt man Wasser, so mufs für die Füllung das ganze Organ unter Wasser gebracht werden, weil sonst der hydrostatische Druck nicht aufgehoben wird, welcher infolge der Schwere des eingefüllten Wassers die Wandung ungleich dehnt. Für die toten Organe würde allerdings diese Methode bequem gebraucht werden können. Am lebenden Tier würde aber die Anwendung mit gröfseren Schwierigkeiten verbunden sein. Da es aber wichtig ist, Vergleichswerte zwischen dem lebenden und toten Zustand zu erhalten, so verdient aus praktischen Gründen die Luft den Vorzug. Die Fehler, welche bei der Luftfüllung gemacht werden können, lassen sich rechnerisch bestimmen und korrigieren. Es sind dies folgende: 1. Die Kompression der Luft durch den Druck und die dadurch bedingte Volumensverminderung. Da wir bei unserem Apparat mit einer konstanten Luftmenge arbeiten, so bestimmen wir vor und nach dem Versuche die Volumensverminderung, welche bei 10, 20, 30 etc. cm Wasserdruck eintritt und bringen sie dann bei dem betreffenden Volumen in Abzug. 2. Das Gewicht des aufzublähenden Magens oder Darmes etc. Denken wir uns einen zusammengefalteten Magen mit Luft aufgeblasen und zwar nur soweit, dafs die Wandung dabei nicht gespannt wird. Der obere Teil des aufgeblähten Magens wird von der Luft getragen; drückt also auf sie durch seine Schwere. Wir messen an unserm Wassermanometer den Druck pro qcm Fläche. Das specifische Gewicht der Magenwand ist etwa 1050, also etwas höher als das des Wassers. Die Dicke der Magenwand beträgt höchstens 1 cm, wird aber bei Entfaltung bedeutend geringer. Der Fehler kann also höchstens etwa 1 cm Wasserdruck betragen. Aufserdem können wir an der Kurve sofort die Belastung und die Dehnung unterscheiden. Solange wir nämlich den zusammengefalteten Körper aufblähen, nimmt der Belastungsdruck mit der Gröfse des Volumens eher ab; sowie die Spannung der Wandung ein-

tritt, beginnt eine plötzliche Drucksteigerung. Für die Untersuchungen am lebenden Tier habe ich folgenden Apparat zusammengestellt, welcher gestattet, mittels körperwarmer und mit

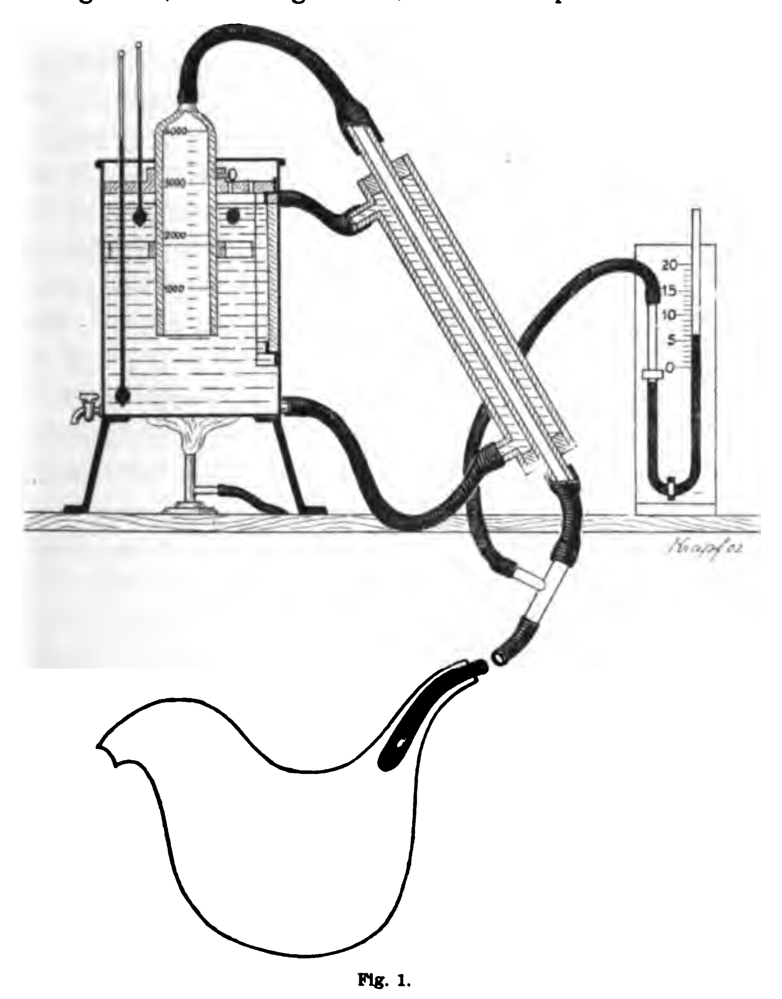


Fig. 1.

Wasserdampf gesättigter Luft den Magen zu bestimmten Volumina aufzublähen unter Bestimmung des zugehörigen Druckes.

Ein grofses, viereckiges, prismatisches Gefäfs, dessen Wände und Boden aus Blech sind, steht auf vier eisernen Füfsen. Die vordere Wand trägt ein langes Glasfenster. In der Nähe des Bodens ist seitlich ein Abflufshahn angebracht. Das Gefäfs wird

mit Wasser zu etwa $^2/_3$ gefüllt. In das Wasser taucht ein Glascylinder[1]), der rund ist, von 10 zu 10 cm graduiert ist, und etwa $^2/_3$ der Länge des Blechgefäfses hat. Durch zwei durchlöcherte Holzdeckel, welche durch Stützen mit den Wänden des Blechgefäfses verbunden sind, hat der Glascylinder eine Führung und er kann auch an den Ringen durch Klemmschrauben befestigt werden. In das Wasser tauchen zwei Thermometer zur Kontrolle der Temperatur, einer am Spiegel, der andere am Boden des Wassers befindlich. Der Glascylinder verjüngt sich oben; durch ein kurzes Gummiröhrchen wird ein langes Glasrohr eingeschaltet, welches mit einer Wärmevorrichtung umgeben ist. Das zur Erwärmung dienende Wasser cirkuliert mit dem Wasser des Blechgefäfses; zwischen dem Magenschlauch und dem Glasrohr wird noch ein kurzes **T** Stück eingeschaltet, an welches ein Wassermanometer angeschlossen ist. Durch Eintauchen des Glascylinders = Volumeters läfst sich der Magen zu bestimmten Volumina entfalten und am Wassermanometer jedesmal der zugehörige Druck ablesen. Das Wasser im Blechgefäfs mufs immer die Temperaturgrade des zu untersuchenden Organes haben; bei Untersuchungen an lebenden Tieren mufs es Blut-Temperaturgrade haben, bei Untersuchungen im Zimmer Zimmer-Temperaturgrade, legt man den Magen in kaltes Wasser, dann diese Temperaturgrade etc. Vor und nach jedem Versuch wird die Volumensverminderung bestimmt, welche pro cm Druckerhöhung im Volumeter und Leitung eintritt. Zu diesem Zwecke wird die Leitung durch Quetschhahn verschlossen (z. B. am Ende des Magenschlauches). Durch Einsenken des Cylinders wird das Volumen der Luft vermindert und der zugehörige Druck direkt am Manometer abgelesen. Durch mehrere Bestimmungen wird ein Mittelwert gefunden, der dann rechnerisch in Abzug gebracht wird. Um diese Gröfse möglichst klein zu gestalten, mufs man die Luftmenge im Volumeter dem Rauminhalt des zu untersuchenden Organes anpassen. Bei kleinen Mägen mufs der Cylinder tief eingesenkt werden und die Niveauhöhe des Wassers hochgenommen werden.

1) Einen ganz ähnlichen Apparat hat Pfaundler benutzt, a. a. O. S. 54.

C. Die mechanischen Verhältnisse der Bauchhöhle.[1])

Die Bauchhöhle ist zum gröfsten Teil von muskulösen Wandungen eingeschlossen, welche am Becken, an der Wirbelsäule und am Rippenbogen feste Ansatzpunkte haben. Über die Funktion dieser Muskulatur wird man sich am ehesten klar, wenn man sich überlegt, welchen Anforderungen sie aus Zweckmäfsigkeitsgründen genügen mufs. Die Bauchwand mufs 1. den Eingeweiden einen bequemen Raum bieten, und zwar bei sehr wechselndem Volumverhältnis. Sie darf 2. die Atmung des Zwerchfells nicht hindern. Sie mufs 3. als Bauchpresse in Thätigkeit treten bei der Stuhl- und Urinentleerung, beim Erbrechen, Husten, Niesen und bei der Geburt. Sie mufs 4. den Rumpf stützen beim Stehen, Gehen und Tragen.

Betrachten wir nun den 1. Punkt und fragen, welche Wechselbeziehungen bestehen zwischen den Volumsveränderungen der Eingeweide und der Spannung der dadurch in Mitleidenschaft

1) Litteratur über den intraabdominalen Druck:

Braune, Die Oberschenkelvene des Menschen. Leipzig 1871.

Luciani, Archiv per scienze mediche 1878, Vol. II Fase 2 p. 177.

Marey, La circulation du sang à l'état physiologique et dans les maladies. Paris 1881.

Schatz, Beiträge zur physiologischen Geburtskunde. Archiv f. Gynaekologie Bd. 3—6.

Wendt, Archiv f. Heilkunde Bd. 17.

Verstraeten, Annales et bulletin de la société de médécine de Gent. Séance de 5. VII. 1887.

Wagner, Wratsch 1888, S. 223, 247, 264.

Weisker 1888. Schmidts Jahrb. Bd. 219 S. 277.

Leshaft, Anatom. Anzeiger 1888, Bd. 3 S. 823.

Repreff, Wratsch 1890, S. 405, 460, 505.

Kelling, Volkmanns Sammlung klin. Vorträge No. 144. Boas' Archiv f. Verdauungskrankh. Bd. 6 S. 455. Langenbecks Archiv f. klin. Chirurgie Bd. 62 S. 10.

Moritz, Zeitschr. f. Biol. Bd. 32.

Contejeau, Compt. rend. Soc. de Biol. Séance de 29. II. 1896, p. 235.

Hamburger, du Boas Archiv f. Physiol. 1896, S. 302.

Schwerdt, Deutsche med. Wochenschr. 1896, No. 4—6. Beiträge zur Ursache und Vorschläge zur Verhütung der Seekrankheit. Fischer. Jena 1902.

Meltzing, Boas' Archiv Bd. 4 S. 101.

Wolkow u. Delitzin, Die Wanderniere. Berlin 1899, Hirschwald.

Quurin, Deutsches Archiv f. klin. Med. 1901, Bd. 71 S. 79.

gezogenen Bauchwand. Ich habe nun bei einigen Hunden die Volumsvergröfserung bestimmt, welche durch Nahrungsaufnahme eintritt. Zu dem Zwecke wurde der Hund 24 Stunden nüchtern gehalten, er bekam dann so viel Fleisch und Wurst zu fressen, als er wollte. Das Volumen des zu fressenden Fleisches wurde genau bestimmt, indem es einfach in einen graduierten Cylinder geworfen wurde und die Menge des verdrängten Wassers gemessen. Der Hund wurde durch Schlag auf den Kopf getötet. Um den Rauminhalt der Bauchhöhle kennen zu lernen, wurde das Volumen der sämtlichen darin enthaltenen Eingeweide festgestellt. Die Bauchhöhle wurde geöffnet, eine Ligatur um die Cardia und eine zweite um den Mastdarm gelegt, dann wurde mit einigen Ligaturen das Mesenterium abgebunden, um den Blutverlust aus den Eingeweiden wenigstens nach Möglichkeit zu vermeiden. Die Organe wurden nun oberhalb der Ligaturen abgetrennt, dazu die Leber, Milz, Nieren, Harnblase (nach Unterbindung) sowie das Gekröse und der unter der Linea alba liegende Fettlappen entfernt und das Gesamtvolumen bestimmt. Um das Volumen des Magens zu bestimmen, wurde der Magen an der Cardia und am Pylorus unterbunden; es wurde erst das Gesamtvolumen bestimmt, dann das Volumen des festen und flüssigen Mageninhalts und das Volumen der Magenwand für sich. Man hatte dadurch auch Kenntnis über die Menge der im Magen enthaltenen Luft, da fester und flüssiger Inhalt, Magenluft und Magenwand gleich ist dem Gesamtvolumen des Magens. Wir erhielten durch einige Versuche folgende Werte:

1. Mittelgrofser weifser Spitz. Hund hat 520 g Fleisch gefressen, dazu 150 ccm Luft im Magen sind = 670 ccm Mageninhalt. Das berechnete Volumen der Bauchhöhle im nüchternen Zustand betrug 650 ccm. Demnach beträgt die Volumsvergröfserung 103 %.
2. Kleiner schwarzer Spitz. Mageninhalt 380 ccm. Volumen der Eingeweide im nüchternen Zustand 570 ccm. Volumsvergröfserung durch Nahrungsaufnahme = 68 %.
3. Kleiner Foxterrier-Hund. Volumen der nüchternen Bauchhöhle 550 ccm. Volumen des Mageninhalts

400 ccm. Volumsvergröfserung durch Nahrungsaufnahme = 70%.

4. Kleiner schwarzer Rattler. Mageninhalt 350 ccm. Volumen der Bauchhöhle 450 ccm. Volumsvergröfserung durch Nahrungsaufnahme = 77%.
5. Kleiner Rattler. Nahrungsaufnahme 370 ccm. Volumen der nüchternen Bauchhöhle 550 ccm. Volumsvermehrung = 70%.

Man sieht daraus, dafs durch eine einfache Nahrungsaufnahme eine beträchtliche Vergröfserung des Rauminhaltes der Bauchhöhle stattfindet. Dieselbe dürfte eher noch gröfser sein, als unsere Versuche angeben, weil durch die Nahrungsaufnahme reflektorisch eine Anfüllung der Blut- und Lymphgefäfse stattfindet, welche ihrerseits hinzuzurechnen ist.

Wie grofs ist die Volumsvermehrung beim Menschen durch Nahrungsaufnahme zu veranschlagen, wenn man die Mengen der durchschnittlich genossenen Speisen bestimmt? Wir kommen dabei auf 1000—1500 ccm. Wie grofs das Volumen der nüchternen Bauchhöhle des Menschen ist, vermag ich nicht anzugeben; ich habe in der Litteratur keine Angaben darüber gefunden und hatte auch kein Leichenmaterial zur Verfügung.

Aus den Tierversuchen geht hervor, dafs die physiologischen Volumsschwankungen der Bauchhöhle, wie sie die Nahrungsaufnahme einerseits, der Abgang von Fäces und Flatus und Urin anderseits bedingen, recht beträchtliche sind und 100% und mehr betragen können. Es fragt sich nun, wie sich die Bauchwand dabei verhält, ob sie rein passiv gedehnt wird, oder ob sie auch noch reflektorisch nachgibt. Dafs das letztere der Fall ist, wissen wir aus den Versuchen, die Braune und Weisker am Menschen angestellt haben. Dieselben wiesen nach, dafs man 2 l in den Magen und Darm bringen kann, ohne dafs der Druck in der Bauchhöhle steigt. Braune hat das Verdienst, nachgewiesen zu haben, wie wichtig dieses reflektorische Nachgeben für die Blutcirkulation ist. Das Blut in der untern Hohlvene müfste einfach angestaut werden, der Bauch würde, wie Braune sagt: »wie ein Lederballon bei jeder Volumenzunahme seinen Inhalt nach

außsen drängen.« Zu denselben Resultaten sind Weisker gekommen, Repreff, auch ich in meinen früheren Arbeiten über den intra-abdominalen Druck. Wir finden den Druck in der Bauchhöhle, sei es, dafs wir ihn am Lebenden oder an der Leiche bestimmen, selbst bei verschiedenem Füllungszustande des Magen- und Darmkanals, immer dem atmosphärischen Drucke sehr nahe stehend, wobei er bald etwas positiv, bald etwas negativ sein kann. Der negative Druck wird durch die Retraktion der Lunge und den dadurch bedingten Hochstand des Zwerchfelles verursacht. Ich habe nun über die passive Dehnung der Bauchwand und über die reflektorische Erschlaffung derselben neuerdings mehrere Versuche an Hunden angestellt, welche neue und interessante Ergebnisse gezeitigt haben. Die Versuchsanordnung war folgende: Der Hund war 24 Stunden nüchtern geblieben und wurde in Rückenlage festgebunden. Da die Versuche kaum schmerzhaft sind, wurden sie ohne Narkose vorgenommen. Es gelang ganz gut, die Tiere so zu beruhigen, dafs sie ruhig atmeten und keine oder nur wenig Abwehrbewegungen machten. Nach Schleichscher Anästhesie des Stichkanals wurde ein dünner Troikart oberhalb der Leberdämpfung in die Bauchhöhle eingestochen. Der Troikart bestand aus zwei Röhren, die dicht ineinander steckten. Die äufsere Röhre war spitz geschliffen zum Zwecke des Einstichs, die innere Röhre war stumpf und etwa doppelt so lang wie die äufsere. Nachdem die äufsere Röhre eingestochen ist, wird die innere vorgeschoben und die äufsere ganz herausgezogen. Die Bauchwand schliefst dann luftdicht um die Röhre ab. Die Troikartröhre wird nun durch ein T-Stück und einige Gummischläuche verbunden mit einem Wassermanometer und einem unter B. beschriebenen Volumeter. Die Bauchhöhle konnte so gradatim mit Luft gefüllt und wieder entleert werden unter Bestimmung des jedesmaligen im Abdomen herrschenden Druckes. Was nun den letzteren anbetrifft, so ist derselbe verschieden bei der Ein- und Ausatmung und wird durch Abwehrbewegungen des Tieres leicht erhöht. Als mafsgebend kann man nur den niedrigsten, bei dem betreffenden Volum erhaltenen Druckwert annehmen, da der letztere viel leichter und beträchtlicher er-

höht als erniedrigt werden kann. Es wurde nach jeder Füllung der Bauchhöhle mit Luft die ganze eingeblasene Luft wieder entleert, ehe ein 2. oder 3. Versuch erfolgte.

Es folgen nun die Versuchsprotokolle.

A. Kleiner Rattler. Die Drucke geben sowohl den höchsten als auch den niedrigsten Wert bei der Atmung an.

Menge der eingeblasenen Luft			Druck in cm	Wasser
95	2—1	Beim	860	18—15
190	5—3	Herauslassen	775	12—10
287	5	der Luft:	680	10—8
385	7—5		585	10—6
480	9—7		485	7—6
575	12—9		390	7—3
670	15—11		290	4—3
762	21—13		195	5—2
855	19—17		97	1
940	26—24		6	0

Der Versuch war einwandsfrei. Alle Luft wurde zurückgewonnen. Der Hund blieb in derselben Lage, ebenfalls die Punktionsnadel. Der Hund wurde durch Äther in Narkose versetzt.

95	2	Beim	1104	39—37
193	3	Herauslassen	1043	26—23
290	4	der Luft:	960	18—15
385	6—5		875	12—10
485	7—6		780	10—8
580	9—8		685	7—6
675	12—10		590	6—4
767	15—13		493	5—3
938	28—23		395	4—2
1018	37—34		295	3—2
1080	50—47		195	3—1
1150	64—60		98	2—1
			0	0

Auch hierbei ging keine Luft verloren.

Nach vier Tagen wurde folgender Versuch angestellt. Die Bauchhöhle wurde nüchtern ohne Narkose mit Luft aufgeblasen.

95	6—4	Es wurde nun	95	5—3
194	7—4	alle Luft wieder	194	7—4
291	9—6	herausgelassen	291	8—6
380	10—7	und bei einem	380	10—7
475	12—9	zweiten Versuch	475	13—9
575	15—10	folgende Werte	575	16—10
682	22—12	erhalten:		
775	26—16			
867	34—22			
958	40—28			

Wieder wurde sämtliche Luft entfernt. Der Hund wurde abgebunden und frafs 350 g Fleisch. Danach wurden durch Luftaufblähung der Bauchhöhle folgende Werte erhalten:

92	III b	8—5,5
180		11—7
285		13—9
388		20—8
475		20—10
572		24—20

Jetzt wurde das Tier durch Schlag auf den Kopf getötet. Es betrug nun das Gesamtvolumen der Eingeweide 920 ccm, im Magen waren 370 ccm Inhalt. Demnach ist das Volumen der Bauchhöhle im nüchternen Zustand auf 550 ccm zu veranschlagen.

B. Kleiner schwarzer Spitz. Nüchtern. Bauchhöhle mit Luft aufgeblasen. (Dieser wie alle folgenden Versuche ohne Narkose.)

95	I	6—1	Alle Luft	96	II	2
192		9—3	heraus-	192		4
290		11—5	gelassen,	285		16—6
385		11—7	danach	380		16—9
478		13—11	zweiter	475		22—12
570		18—15	Versuch.	568		20—16
660		23—19		660		32—18
740		30—22		750		30—20
				844		32—26
				980		50—34

und zurück	850	26—21	395	3
	770	17—14	295	2
	680	16—8	192	3—1
	585	10—7	100	0
	490	10—5	0	0

C. Mittelgrofser Pudel. Bauchhöhle nüchtern mit Luft aufgeblasen.

90	I	6—4	zurück	1060	28—22
190		10—5		970	22—14
290		9—5		880	12—10
390		8—5		785	9—8
488		10—7 dann 8—6		688	8—6
584		14—8		590	5
680		18—10		490	4
775		22—13		395	3
865		28—17		295	2
955		34—22		197	1,5
1040		44—30		100	0,5
1130		50—36		0	0

2. Versuch.

95	II	3—2
195		3
290		4
390		5
488		6
575		8—7
680		10
775		16—12
865		22—17
955		28—22

D. Kleiner, männlicher Foxterrier, sehr mager, Bauchdecken eingesunken, nüchtern. Luftaufblasung der Bauchhöhle.

100	I	0	alle Luft	100	II	0	wieder	100	III	0
196		2	heraus-	200		0	alle Luft	198		1
294		3	be-	394		3	heraus-	246		2
392		4	kommen,	492		4	gelassen	296		2
488		6	danach:	590		5		394		3
588		6		684		8		490		5
684		8		784		8		588		6
778		11		874		13		684		8
876		12		968		16		778		11
972		14						874		13
								968		16

Danach wieder alle Luft herausgelassen. Der Hund wurde nun gefüttert und frafs ziemlich genau 300 ccm Fleisch. Danach wurde die Bauchhöhle mit Luft aufgeblasen und ergaben sich:

100	2	danach	20	Ib	0—1
60	1	wieder	40		0—1
40	0,5	ansteigend	60		1
20	0—0,5		80		1,5
0	0		100		2
			192		4
			288		6
			384		8
			476		12
			570		15
			664		17

Der Hund wurde nun getötet. Gesamtvolumen der Bauchhöhle 950 ccm. Mageninhalt 400 ccm. Volumen der nüchternen Bauchhöhle 550 ccm. Im Magen war 320 ccm Festes und Flüssiges und 80 ccm Luft.

E. Kleiner schwarzer Spitz. Dieser Hund hielt auffällig ruhig. Nüchtern:

96	I	2	alle Luft	138	II	1	wieder	97	III	1,5
194		3	heraus;	236		2	alle Luft	194		3
290		5	danach:	332		4	heraus;	290		5
386		7		430		5	danach	388		6
484		8		526		7		484		7
578		11		620		10		578		11
670		15		712		14		674		13
760		20		800		20		764		18

alle Luft herausgelassen; der Leibesumfang wurde in Rückenlage bestimmt. Im Epigastrium, an der Stelle des Einstiches, 35 cm. In der Insertion des Penis 27 cm. Der Hund frafs nun 300 ccm Wurst. Der Umfang betrug im Epigastrium 40, an der Penisinsertion 30 cm.

Druck bei Luftaufblähung.

		dann aufsteigend:		und absteigend:		und ansteigend:		
100	5							
80	4	20	2,5	80	3,5	10	Ib	1,5
60	3,5	40	3	60	3	20		3
50	3	60	3	40	3	40		3
30	2,5	80	4	20	3	60		4
20	2	100	4	10	2,5	80		4
5	2			5	0	100		5
						188		6
						280		10
						376		12
						468		16
						560		22
						730		32

dann alle Luft herausgelassen und nochmals aufgeblasen.

20	IIb	2,5
40		2,5
60		5
80		4
100		4
188		6
288		6
384		8
480		10
570		15
660		22
745		30

Hund wurde getötet. Es betrug das Gesamtvolumen der Eingeweide 950 ccm. Mageninhalt = 380 ccm (350 Festes und Flüssiges, 30 Luft). Volumen der nüchternen Bauchhöhle 570 ccm.

F. Schwarzer, grofser, fetter Spitz. Luft eingeblasen in die Bauchhöhle. Der Hund hatte 24 Stunden gefastet.

90	I	5—4	zurück	878	12—11
190		5—4		782	9
290		5—4		685	8—7
388		6—5,5		588	6
486		7		490	5
584		8		392	4
682		9		294	3
780		11—10		196	2
876		13—12		100	1
972		14		0	0

danach

94	II	3	zurück	880	10
192		4		784	8
291		4,5		686	7
390		5		588	6
488		6		490	5
586		7		392	4
684		10—8		292	4
782		11—9		194	3
898		13—11		94	3
974		15—13			

Der Hund bekam 220 ccm Wurst und Fleisch zu fressen. Bauchhöhle mit Luft aufgeblasen:

150	Ib	5	zurück	930	15
254		6		835	12,5
346		7		740	10
446		8		642	9
542		9		546	7
640		10,5		444	8
736		12		348	6
830		15		250	5
926		17		152	4
1020		20		56	2
				0	0

danach

92	IIb	4	alle Luft	92	IIIb	4
190		5	heraus-	190		5
288		6	bekommen	287		6,5
386		7	und	385		7,5
484		8	danach	483		8,5
580		10		579		10,5
676		12		676		12
772		14		771		14,5
868		16,5		867		16,5
960		20		959		20,5

Luft herausgelassen, Hund getötet. Das gesamte Volumen der Eingeweide betrug 1350 ccm. Im Magen war 220 ccm Fleisch, der Dünndarm war leer. Demnach ist das Volumen der nüchternen Bauchhöhle auf 1130 ccm zu veranschlagen.

G. Kleiner grauschwarzer Rattler, 24 Stunden nüchtern.

94	I	4—3	alle	134	II	3	alle	96	III	4
192		4	Luft	232		4	Luft	188		6
287		6,5	heraus,	328		6	heraus,	284		8
383		8,5	dann:	424		8	danach:	382		9
482		9		520		10		480		10
576		12		613		13,5		572		14
664		17		704		18		668		18
788		21		796		22		756		22
842		29		876		32		841		29,5

Alle Luft herausgelassen. Der Hund bekam Wurst und Fleisch zu fressen und frafs 350 ccm. Danach:

80	Ib	10	alle	80	IIb	10	alle	84	IIIb	8
180		10	Luft	176		12	Luft	178		11
278		11	heraus-	276		12	heraus,	276		12
372		14	gelassen,	370		15	danach:	368		16
460		20	danach:	458		21		440		20
544		28		540		30		544		28
623		38,5		618		41		626		37

Hund erbrach 50 g Fleisch.

Während der Versuche Ib bis IIIb war der Hund unruhig und machte öfter Abwehrbewegungen, weshalb die Werte etwas hoch ausgefallen sind. Hund wurde nun getötet. Es betrug nun das Volumen der gesamten Eingeweide 800 ccm. Im Magen war 300 ccm Festes und Flüssiges und 50 ccm Luft. Demnach ist das Volumen der nüchternen Bauchhöhle auf 450 ccm zu berechnen.

H. Weifser Spitz, Hündin, etwa 10 Jahre alt. Hund war nüchtern und während der Versuche etwas unruhig.

97	I	2	alle	97	II	2	alle	97	III	2
195		3	Luft	195		3	Luft	197		2
297		2	heraus,	293		5	heraus,	294		4
397		2	danach:	394		4	danach:	397		2
494		4		493		5		493		5
591		6		592		5		591		6
690		7		691		6		693		5
787		9		788		8		789		7
885		11		880		12		888		8
980		14		977		15		985		10

Alle Luft heraus. Hund frifst nun 520 ccm Fleisch. Als er wieder angebunden wird, erbricht er 120 ccm. Durch Luftaufblähung folgende Werte:

17	I b	2	alle Luft	20	II b	0—1
35		3	heraus,	40		0—1
60		1—0	danach:	94		4
94		4		193		5
193		5		291		6
291		6		391		6
390		7		490		7
491		6		580		12
585		9		680		13
680		14				

Alle Luft herausgelassen. Es wurde nun der Hund durch Schlag auf den Kopf getötet. Der Kadaver wurde in derselben Rückenlage wieder aufgebunden und durch Aufblasung der Bauchhöhle folgende Werte erhalten:

10	0,5	393	5
20	1	490	7,5
40	1	585	9
58	1,5	680	12
78	1,6	776	16
97	2	867	22
197	2,5	940	27
295	3,5		

Es betrug nun das Gesamtvolumen der Eingeweide 1200 ccm. Der Mageninhalt betrug 550 ccm (400 Festes und Flüssiges, 150 Luft). Das Volumen der nüchternen Bauchhöhle berechnet sich danach auf 650 ccm.

Die Resultate sind in Kurven ausgedrückt auf beiliegender Tafel zusammengestellt. Das Volumen ist auf der Abscisse, der Druck auf der Koordinate aufgetragen. Die Horizontale gibt das Volumen der nüchternen Bauchhöhle an. Es ergibt sich nun folgendes:

1. In der nüchternen Bauchhöhle ist der Druck = 0 = dem atmosphärischen Druck.

2. Bei Füllung des Abdomens mit Luft steigt der Druck proportional der Füllung. Bei Ausdehnung über eine gewisse Grenze steigt er dann aber ziemlich plötzlich steiler an. (Vergl. die Kurven A II, C I und G.) Dieser plötzliche Anstieg kommt der Dehnungskurve der gesamten willkürlichen Muskulatur zu, welche nach Wertheim ungefähr die Form einer Hyperbel hat. (Wertheim: Annales de Chemie et de Physique. 3 S. T. 21 p. 385. 1847.) Da diese Erscheinung nichts besonderes darstellt,

braucht sie nicht weiter berücksichtigt zu werden. Der steile Anstieg der Hyperbel beginnt, wenn das Volumen der Bauchhöhle ungefähr verdoppelt worden ist.

3. Bei Abnahme der Spannung zeigt sich eine starke elastische Nachwirkung (vergl. die Kurven A I und II, B II, C I), die Kurven fallen niedriger aus. Im Zustand der Entspannung gleicht sich die elastische Nachwirkung alsbald aus, so dafs bei erneutem zweiten Aufblasen die Kurve dieselbe Form hat wie beim ersten Aufblasen. Diese interessante Erscheinung läfst den Schlufs zu, dafs selbst bei normalen Dehnungen der Muskulatur, wie sie das Leben mit sich bringt, schon die Grenze vollkommener Elasticität überschritten wird. Triepel, der die Elasticität des Leichenmuskels bestimmte, schlofs aus seinen Untersuchungen, dafs die Elastistitätsbreite des Muskels erheblich geringer ist als die normalerweise vorkommenden Dehnungen.[1]) Da wir beweisen können, dafs solche Dehnungen der Bauchmuskeln, wie wir sie durch Luftauftreibung erzielen, auch durch Nahrungsaufnahme zu stande kommen, so müfsten diese zu einer Herabsetzung der Muskelelasticität führen, wenn nicht dieselbe mit Hilfe des Nervensystems wieder ausgeglichen werden könnte. Dafs das letztere der Fall ist, wird behauptet.

4. Der Widerstand der unthätigen Bauchmuskeln gegen die Dehnung ist aufserordentlich gering. Durch eine Spannung, welche kaum 10 cm Wassersäule beträgt, kann das Volumen der Bauchhöhle schon verdoppelt werden. Es stimmt dies überein mit den Untersuchungen der Anatomen und Physiologen, nach welchen der Elasticitätsmodul der Muskulatur sehr klein ist. So fand z. B. Triepel den Elasticitätsmodul für das Zwerchfell ca. 0,02, für den Rectus abdominis von 0,002 bis 0,02; also eine Faser von 1 mm Querschnitt würde durch das Gewicht von 20 g um ihre eigene Länge gedehnt werden. Vergleichen wir damit den Elasticitätsmodul des Stahles, welcher 20000 (kg) beträgt, so scheint uns die geringe Elasticität der Muskeln in Mifsverhältnis zu stehen zu ihrer Funktion, da der thätige Muskel die gleiche Elasticität hat wie der unthätige. Die absolute Muskelkraft soll

---

1) Anatomische Hefte, Heft 45 S. 359.

pro qcm Menschenmuskel ca. 10 kg betragen, das wäre pro qmm 100 g. Der geringe Widerstand der Bauchmuskeln gegen ihre Dehnung zeigt uns auch, dafs die Muskelelasticität gar nicht genügen würde, die Gleichgewichtslage der Eingeweide zu garantieren. Die Eingeweide drücken mit ihrer Schwere auf die vordere Bauchwand, und dieser Druck beträgt unter Umständen wesentlich mehr als 10 cm Wassersäule. Dieser Belastungsdruck müfste den Leib sehr ausdehnen und die Eingeweide wesentlich verlagern, wenn der Körper sich nicht dagegen schützen würde. Es geschieht dies dadurch, dafs beim Gehen und Stehen etc. die Bauchmuskulatur reflektorisch gespannt wird. Das Verhalten der Bauchwand ist analog dem Verhalten der Extremitätenmuskeln. Auch diese sind aufserordentlich leicht dehnbar, und einen wesentlichen Widerstand können sie nur durch aktive Kontraktion leisten.

5. Bei Füllung mit Luft können wir keine reflektorische Erschlaffung der Bauchwand nachweisen; unsere Kurven A, B, C, D, E, G, H steigen gradatim an. Ich glaube, dafs es hierauf beruht, dafs sich schon geringe Grade von Ascites durch leichte Spannung der Bauchwand bemerkbar machen. Solche Spannung, die als Meteorismus imponiert, findet sich im Beginn der Lebercirrhose oft schon zu einer Zeit, wo der Ascites physikalisch noch nicht deutlich nachweisbar ist.

6. Hingegen findet unzweifelhaft ein Nachlassen der Spannung der Bauchwand statt bei Füllung des Magens durch Nahrungsaufnahme. Wir konnten dies bei unseren Versuchen einwandsfrei nachweisen, indem wir nach reichlicher Nahrungsaufnahme des Tieres noch ganz geringe Mengen Luft in die Bauchhöhle einbliesen und den Druck mafsen, unter welchem diese Luft stand. Es zeigte sich nun, dafs trotz der reichlichen Nahrungsaufnahmen der Druck immer noch gleich oder nahe dem atmosphärischen geblieben war.

7. Es zeigte sich aber, dafs nach erfolgter Nahrungsaufnahme bei weiterer Füllung der Bauchhöhle mit Luft die Dehnungskurve sehr nahe kommt und mitunter fast parallel verläuft mit

derjenigen Kurve, welche wir erhalten durch Füllung der nüchternen Bauchhöhle mit Luft. Vergl. E, F, J. Wir können daraus entnehmen, dafs die Muskeln zwar länger geworden sind durch reflektorischen Einflufs, aber ihren Spannungszustand ziemlich genau behalten haben. Diese Erscheinung hat, wie einfache Prüfungen ergeben haben, ihre Analogie bei der Skelettmuskulatur. Wie Sherrington nachgewiesen hat, erschlafft bei Wirkung des Synergisten der Antagonist um den entsprechenden Betrag; so kommt es, dafs wir z. B. den Unterarm in beliebige Beugestellung bringen können, und dafs trotzdem in jeder Stellung eine Ruhelage eingenommen werden kann. Wenn wir nun die Kraft messen, welche nötig ist, um bei verschiedener Beugehaltung, also bei verschiedener Länge der Flexoren eine passive Streckung des Unterarms zu erzielen, so wird sie gröfser, je länger die Flexoren sind, je geringer die Beugung ist. Dasselbe läfst sich an Flexoren und Extensoren der Finger nachweisen. Lassen wir einen Menschen seine Finger in Beugestellung bringen und in dieser zwanglos verharren, so ist die Kraft, welche wir brauchen, um die Finger zu strecken, um so geringer, je mehr die Finger gebeugt sind. Umgekehrt ist bei Dehnung der Extensoren, die Kraft um so gröfser, je mehr die Finger gebeugt sind. Diefe Thatsache konnte ich in einfacher Weise mit Gewichten feststellen. Dasselbe geht aus Versuchen über Torsionsschwingungen des thätigen und unthätigen Froschmuskels hervor, welche bei gleicher Länge dieselbe Schwingungsdauer ergeben haben.[1]) Unsere Resultate sind demnach vollkommen erklärt durch die Thatsache, dafs die Muskelelasticität nicht von der Thätigkeit, also auch nicht von der Erschlaffung abhängt, sondern ausschliefslich von der jeweils eingenommenen Länge; da die Länge der einzelnen Bauchmuskeln nicht ganz die gleiche ist, wenn man dasselbe Volumen einmal in die Bauchhöhle und das andere Mal in den Magen einführt, so folgt daraus, dafs unsere Kurven ziemlich gleich, aber nicht ganz identisch ausfallen können.

---

1) Vgl. Triepel, Einführung in die physikalische Anatomie. Wiesbaden 1902, S. 115.

8. Einflufs einer schnellen Abmagerung und eines schnellen Fettansatzes auf die Spannung der Bauchwand:

Wie wir in 5 gesehen haben, kommt von der Peritonealhöhle selbst keine reflektorische Erschlaffung der Bauchwand zu stande, es erfolgt auch, wenn nicht besondere Reize wie bei Peritonitis, bei Schmerzen in den Eingeweiden, vorhanden sind, bei Entleerung der Bauchhöhle keine reflektorische Kontraktion. Dies zeigt uns der Fall D. Der Hund war rapide abgemagert, seine Bauchwand schlaff: In der Bauchhöhle bestand der atmosphärische Druck, und derselbe herrschte noch, nachdem circa 200 ccm Luft in die Bauchhöhle eingeführt waren; erst jetzt setzte der positive Druck durch passive Spannung der Bauchwand ein.

Anders verhält sich der Fall F. Dieser betrifft einen gemästeten Hund. Blasen wir hier Luft in die Bauchhöhle ein, so steigt der Druck nicht allmählich, sondern ziemlich plötzlich an. Alle die Kurven von F weisen in ihrer Verlängerung nicht auf das gefundene Volumen der nüchternen Bauchhöhle von 1150, sondern auf ein Volumen von ca. 1000 hin. Wir müssen annehmen, dafs der Hund etwa 150 g Fett schneller angesetzt hat, als sich die Bauchwand dementsprechend vergröfsern konnte. Diese Erscheinung hat nichts unwahrscheinliches: Fett kann schnell schwinden, aber auch schnell angesetzt werden. Der Muskel braucht aber längere Zeit, ehe er aus seiner früheren Länge in eine andere übergeht: so z. B. dauert es Wochen und Monate, bis man Muskeln und Fascien durch orthopädische Mafsnahmen verlängern kann.

Ganz ebenso verhält sich die Sache nach Beendigung der Schwangerschaft. Auch hier sind die Bauchmuskeln länger geworden, und wenn wir eine Dehnungskurve der Bauchhöhle aufnehmen, so weist der Nullpunkt dieser Kurve auf ein gröfseres Volumen hin, als der Kapacität der Bauchhöhle im nüchternen Zustande zukommen würde.

2. Die Atmung.

Dieselbe mufs so erfolgen können, dafs keine Raumbeengung in der Bauchhöhle dadurch stattfindet.

Für gewöhnlich wird beim Menschen durch die Inspiration der Druck um 4—12 cm erhöht, bei tiefster Inspiration bis zu $^1/_2$ m.[1]) Es kommen dann ferner Fälle vor, wo die Atmung keinen Einflufs auf den Druck ausübt; endlich können auch inspiratorische Erniedrigungen des Druckes vorkommen. Bei Hunden werden bei angestrengter Atmung die Druckschwankungen umgekehrt als bei ruhiger Atmung, so dafs der Druck exspiratorisch höher ist, als inspiratorisch.[2])

Für das Verständnis bieten diese Erscheinungen keine Schwierigkeiten: Die Hebung des Rippenbogens resp. Senkung desselben bei der Atmung vergröfsert resp. verkleinert das Volumen der Bauchhöhle. Ob das Volumen nun wirklich vergröfsert wird, gleich bleibt oder vermindert wird, das hängt nur von der Ausgiebigkeit der gleichzeitig erfolgenden Zwerchfellkontraktionen ab.

Für die Volumensänderungen überwiegt das Zwerchfell, so dafs es jede durch Rippenbogen und Bauchwand bedingte Veränderung ausgleichen kann. Daher kann die Erschlaffung des Zwerchfells in Ruhe infolge der durch die Lunge bedingten Retraktion (forcierte Exspirationsstellung des Zwerchfells) negativen Druck hervorbringen. Ebenso kann negativer Druck eintreten bei Überdehnung der Bauchwände durch Luft nach schneller Entfernung dieser Luft. Die inspiratorische Druckschwankung ist im Magen stets positiv, wenn derselbe stärker aufgebläht ist[3]); ebenso in der ganzen Bauchhöhle, wenn dieselbe stärker gefüllt ist (Ascites)[4]); die inspiratorische Drucksteigerung ist dabei gröfser als bei normalem Füllungszustand.

Für die gewöhnliche Atmung besteht ein reflektorischer Mechanismus, der Rippenbogen erweitert sich und die Bauch-

---

1) Moritz, a. a. O. S. 360.
2) Quurin, a. a. O. S. 84.
3) Kelling, Volkmanns Sammlung 144, S. 498.
4) Quurin, a. a. O. S. 97.

wand wird um so viel länger, als das Zwerchfell herabtritt. Sonst wäre es unmöglich, dafs die Atmung oft ganz ohne jede Drucksteigerung, oder mit nur geringer Drucksteigerung stattfinden könnte (vergl. das Gesetz von Sherrington über Erschlaffung der Antagonisten).

3. Faktoren, welche sämtliche in der Bauchhöhle vorhandenen Organe betreffen.

Es kommen nun noch Faktoren in Frage, welche sämtliche in der Bauchhöhle befindlichen Organe gleichmäfsig beeinflufsen.

1. Die Bauchpresse, beim Heben, Husten etc. (Drucksteigerung bis 3 m Wassersäule).
2. Die abnorme passive Bauchwandspannung, z. B. beim Ascites, erhöht den Druck (bis auf 50 cm Wassersäule).
3. Die abnorme Erschlaffung; durch letztere kann der Druck negativ werden, so z. B. in der Leiche durch Exspirationsstellung des Diaphragmas. Dasselbe könnte eintreten nach dem Ablassen des Ascites.

Negativer Druck im Abdomen rührt immer davon her, dafs das Volumen zu grofs ist für den Inhalt, und die atmosphärische Luft an unnachgiebigen Stellen (Zwerchfellkuppe, kleines Becken) die Bauchwand nicht eindrücken kann.

4. Interessant sind noch die Verhältnisse beim Gehen, Stehen und Tragen von Lasten.

Bestimmt man den Druck im Mastdarm beim Stehen, so ist er, in Wasser gemessen, so hoch etwa wie der Stand der Leberkuppe. Die Organe drücken aufeinander nach ihrer Schwere, wobei ihr spec. Gewicht etwa = 1 ist. Wir sehen auch, dafs kein besonderer Druck von seiten der Bauchdecken ausgeübt wird; sie halten nur dem Gewichte der Eingeweide den Widerstand und werden zu diesem Zwecke reflektorisch kontrahiert. Dafs die eigene Muskelelasticität dem »statischen Druck« nicht widerstehen kann, haben wir oben gesehen.

Beim Gehen wird der Rumpf nach vorn geneigt. Der Oberkörper wird also durch die Rückenmuskeln gehalten, und die Bauchmuskeln haben keine Gelegenheit, durch Spannung den

Druck in der Bauchhöhle zu erhöhen; dasselbe ist der Fall bei dem gewöhnlichen Tragen von Lasten mit nach vorn gebeugtem Rumpf; eine Ausnahme macht es, wenn man die Last nach vorn frei heraushält; dann wird der Oberkörper nach hinten gebeugt zum Ausgleich des Gewichtes und die Bauchmuskeln gespannt, dann steigt der Druck im Mastdarm bei dieser unnatürlichen Haltung; diese Resultate habe ich durch Druckbestimmungen im Rektum des Menschen gewonnen.

Faſst man alles zusammen, so sieht man, daſs mannigfaltige Einrichtungen getroffen sind, um bei Volumensänderungen der Bauchhöhle beim Essen, beim Atmen, bei Bewegungen des Körpers den Druck in der Bauchhöhle nahe dem atmosphärischen Druck zu halten.

Derjenige Druck, welcher im Intestinum besteht, wenn es frei liegt, »der Intestinaleigendruck«, wird bei der Lage des Intestinums in der Bauchhöhle beeinfluſst von sehr verschiedenen Faktoren.

1. Die umgebenden Organe können durch ihre Schwere den Druck erhöhen resp. erniedrigen. So ist z. B. der Druck im Magen verschieden in Rückenlage, rechte und linke Seitenlage, weil die schwere Leber im Rücken und linker Seitenlage den Magen belastet. So fand ich bei einem jungen Manne mit Magenfistel nach Füllung mit 500 cm Luft in Rückenlage 4—5 cm, rechter Seitenlage 3—4 cm, linker Seitenlage 8—10 cm Wasserdruck. Die Unterschiede sind noch drastischer, wenn man den Druck im Mastdarm bestimmt, einmal im aufrechten Stand und das andere Mal im Kopfstand. Im ersteren Falle beträgt der Druck etwa 30 cm Wasser, gleich der Entfernung des Rektums vom obersten Teile der Bauchhöhle, dem Diaphragma; hier belasten die sämtlichen Organe, deren spec. Gewicht ca. = 1 ist, das Rektum, im anderen Falle ist der Druck negativ (z. B. in Knieellenbogenlage — 12 cm nach Wendt), weil die nach dem Brustraum fallenden Organe das in der unnachgiebigen Beckenhöhle liegende Rektum erweitern.

2. Die Organe können in ihrer Ausdehnung gehindert werden durch ihre Umgebung — die Bauchwand und die benachbarten

Intestina —, infolgedessen wird ihr Eigendruck durch Kompression erhöht.

Z. B. wird der ad maximum aufgeblähte Magen vom Rippenbogen gedrückt; oder eine meteoristische Kolonschlinge vermag auf den Magen zu drücken. Es handelt sich also hier um eine Drucksteigerung durch gegenseitige Platzbehinderung.

Aus alledem ersehen wir sehr deutlich, dafs wir vielen Fehlerquellen ausgesetzt sind, wenn wir aus dem intra-intestinalen Drucke, welchen wir in dem in der Bauchhöhle befindlichen Organ messen, Rückschlüsse machen wollen auf den Intestinaleigendruck. Stets ist es vorzuziehen, den Druck in einem freigelegten Organ zu messen. Da wir aber für gewisse Zwecke, um normale Verhältnisse zu behalten, doch nicht anders den Organdruck messen können, als in der Bauchhöhle selbst, so müssen wir dabei folgende Faktoren genau beachten:

1. Natürliche Lagerung. Das betreffende Organ mufs der höchsten Stelle der Bauchwand angehören, so dafs es nicht belastet wird.

2. Meteorismus darf nicht bestehen; die Bauchdecken müssen möglichst schlaff sein.

3. Die Atmung mufs ruhig erfolgen und die Respirationsschwankungen müssen berücksichtigt werden.

Immer müssen wir aber uns erinnern, dafs wir nicht die absoluten, sondern nur die relativen Werte dabei berücksichtigen dürfen. Nur wenn sonst alle Faktoren gleich bleiben, können wir die Schwankungen des Druckes auf den Intestinaleigendruck beziehen.

Die mechanischen Verhältnisse der Bauchhöhle will ich am Schlusse dieses Kapitels erörtern an der Hand eines von mir konstruierten Modells. Es lassen sich daran alle wesentlichen Punkte und auch das Wesen der Enteroptose demonstrieren.

Bei dem Modell ist weniger darauf gesehen worden, dafs die anatomischen Verhältnisse der Bauchhöhle genau nachgeahmt wurden, als vielmehr darauf, dafs die mechanischen Faktoren drastisch zu Tage treten. Das ganze Modell ist ein Cylinder, der auf drei Füfsen steht. Den Boden und die Decke bilden

zwei runde Holzscheiben von einigen cm Dicke. Diese sollen den Rippenbogen und das Becken vorstellen. Diese beiden Scheiben sind aneinander stark befestigt durch zwei Stäbe, zwischen denen eine Glasscheibe *G* eingespannt ist. Diese Kombination stellt eine starre Rückwand dar, welche der Wirbelsäule entspricht. Die übrige Wandung ist von einer Gummimembrane *B* gebildet, welche die elastische muskulöse Bauchwand vorstellt. Man kann nun den Deckel abheben und eine Anzahl Organe hineinlegen, welche einer Leiche entnommen sind. Diese liegen in unserem Modell genau so wie im Körper, nämlich das eine ruht auf dem anderen und die elastische Bauchwand leistet nur der Schwere der Organe Widerstand, sie übt aber keinen besonderen Druck aus. Man füllt nun den Cylinder mit Wasser, um die Hohlräume zu beseitigen und die Druckverhältnisse demonstrieren zu können. Zu dem Zwecke ist im Boden ein Ablaufhahn *A* mit einem Quetschhahn *Q* vorhanden. Der Cylinder wird nun von unten mit Wasser gefüllt und der Lufthahn *L* so lange offen gehalten, bis die Füllung vollendet ist. Es kann nun am Manometer *M* der Druck abgelesen werden. Wir überzeugen uns so, dafs der Druck im Innern hydrostatischen Gesetzen folgt. Was die Atmung anbetrifft, so wird das Zwerchfell repräsentiert durch einen Cylinder mit verschiebbaren Kolben *K*. Das Tiefertreten des Cylinders entspricht der Kontraktion des Zwerchfelles bei der Inspiration, das Herausziehen des Cylinders dem Hochtreten des Zwerchfelles bei der Exspiration. Wir überzeugen uns nun, dafs bei ausschliefslicher Zwerchfellatmung der Druck bei der Inspiration steigt, bei der Exspiration sinkt. Der Einflufs des Rippenbogens bei der Atmung wird demonstriert durch einen

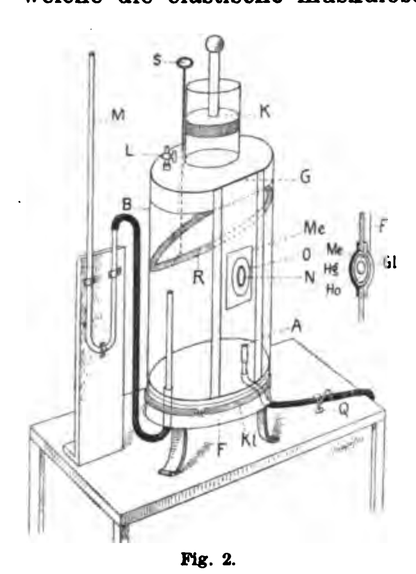


Fig. 2.

Metallring *R*. Derselbe ist durch zwei Charniere beweglich befestigt an der starren Rückwand. Mit Hilfe eines Stabes *S*, welcher den Deckel durchbohrt, kann die Stellung des Ringes verändert werden. Für gewöhnlich liegt er nach unten geneigt, wie die Abbildung zeigt. Wird er mit Hilfe des Stabes in die horizontale Richtung gehoben, so wird der obere Querschnitt erweitert, der Druck sinkt. Dies entspricht der Erweiterung des Rippenbogens bei der Inspiration. Das Herabschieben des Ringes aber entspricht der Verkleinerung des Querschnittes bei der Exspiration. Man kann nun den Einflufs der reinen Rippenatmung auf die Druckschwankungen in der Bauchhöhle einfach demonstrieren. Man kann aber auch die Wirkung der Kombination der Rippen- und Zwerchfellatmung in allen vorkommenden Nuancen demonstrieren. Hebt man z. B. den Ring und vergröfsert so das Volumen der Bauchhöhle, wie es der inspiratorischen Rippenbewegung zukommt, so wird der Druck sinken. Gleichzeitig erfolgt aber eine Kontraktion des Zwerchfelles, deren Wirkung wir mit unserem Kolben anschaulich machen. Je nach der Länge des Weges, auf welchem wir den Kolben nach unten gleiten lassen, wird nun die durch den Rippenbogen bedingte Druckverminderung vorhanden bleiben, ausgeglichen oder übertroffen werden.

Wir können an unserem Modell auch das Wesen der Enteroptose zeigen. Die eine Form der Enteroptose, bei welcher die Bauchwand ihre Beschaffenheit behält, und nur das Volumen der Bauchhöhle verringert wird durch Fettschwund und Leerheit der Därme, wird an unserem Modell hervorgerufen, indem wir Wasser durch den Abflufshahn *A* ablaufen lassen. Wir finden dann, dafs die Bauchwand einsinkt, dafs der Kolben, welcher das Zwerchfell repräsentiert, tiefer tritt, und dafs sich mit Luft gefüllte Organe in der Nähe des Zwerchfelles ausdehnen. Zu dem Zweck legen wir eine mit Luft gefüllte schlaffe Gummiblase oben ein, welche den Magen repräsentieren soll.[1])

1) Meines Erachtens kann der negative subdiaphragmale Druck auch die Blutgefäfse erweitern und epigastrische Pulsation, bei Disposition auch die Ausbildung von Aneurysmen bewirken bei starker Enteroptose.

Wir sehen weiter, dafs der Querschnitt oben mehr vermindert wird wie unten, und dafs infolgedessen die Organe tiefer treten.

Die andere Form der Enteroptose besteht darin, dafs die Bauchwand durch Erschlaffung (z. B. Schwangerschaft) zu grofs geworden ist für den Inhalt. Um diese Verhältnisse zu demonstrieren, ist die Gummimembran an unserem Modell etwas länger genommen worden, als es dem Abstand des Deckels vom Boden entspricht, und dieses Stück ist in eine Falte *F* umgelegt. Für gewöhnlich tritt aber das Wasser nicht in die Falte ein, da die Falte durch eine Klammer *Kl*, welche fest um den Boden geschnürt ist, vom Wasser abgeschlossen ist. Nehmen wir die Klammer weg, so wird die Bauchwand zu lang. Das Wasser dringt in die Falte, die Bauchwand sinkt oben ein und wölbt sich unten vor, und oben am Zwerchfell entsteht ein negativer Druck.

Einiger besonderer Worte bedarf es noch über die Befestigung der Niere. Ich hatte in meiner früheren Arbeit in Volkmanns Sammlung Nr. 144 S. 490 auf Grund einiger Versuche an Leichen gesagt, dafs die Nieren an Bändern hängen. Nachdem ich aber die Arbeit von Wolkow und Delitzin über die Wanderniere (Berlin 1899) kennen gelernt hatte, überzeugte ich mich, dafs meine Behauptung in dem von mir ausgesprochenen Umfange nicht richtig war. Mir sind bei meinen Versuchen nur die Leichen abgemagerter Phtisiker zur Verfügung gestellt worden, und was ich bei diesen gefunden habe, habe ich fälschlich verallgemeinert. Für die Lage der Niere ist folgendes sicher festgestellt. 1. Die Niere liegt in einer ihr angepafsten präformierten Nische. 2. Die Niere ist von einer Fettkapsel umgeben, doch genügt diese Fettkapsel nicht, die Niere in ihrer Nische zu fixieren. Wenn man die Bauchhöhle eröffnet und die Leichen aufstellt, so sinkt die Niere. Wolkow und Delitzin S. 248. 3. Vor der Niere läuft eine einfache Lamelle des parietalen Bauchfelles; auch diese Lamelle fixiert die Niere nicht. Die Niere wird auch nicht vom atmosphärischen Druck gehalten, wie etwa der Femurkopf in der Pfanne. 4. Die Niere sinkt, sowie ihr Gewicht durch Einspritzen von Quecksilber erhöht wird. Solche Nieren können unmöglich an unelastischen

Bändern hängen. 5. Die Niere sinkt, wenn man die Muskulatur der vorderen Bauchwand abpräpariert (Wolkow und Delitzin S. 118, 132). Dies gilt aber nur für solche Nieren, die nicht schon vorher dislociert waren. Demnach kann die Befestigung der normal gelagerten Nieren nur so statthaben: Die Muskulatur der Bauchwand hält die Niere in ihrer Nische fest; damit das möglich ist, müssen die zwischen der Bauchwand und der Niere liegenden Organe als Pelotte wirken. Die Kräfte also, welche die Niere festhalten, sind: 1. Der Widerstand der Bauchwand, 2. der statische Druck, welcher auf den der Niere vorliegenden Organen lastet. Dazu kommt 3. der Widerstand, welchen die vorliegenden Organe ihrer Kompression entgegen setzen. Merkwürdigerweise ist auf diesen Punkt in den Arbeiten, welche die Statik der Bauchhöhle behandeln, nirgends hingewiesen. Es ist aber klar, dafs in der Bauchhöhle nicht rein hydrostatische Verhältnisse herrschen, und dafs der Widerstand, welchen die Eingeweide einer Formveränderung entgegensetzen, die Lage der Eingeweide stabiler macht. 4. Kommt in Frage das spec. Gewicht der Niere mit der sie umgebenden Fettkapsel als Ganzes genommen. Die Fettkapsel wirkt meiner Ansicht nach wie eine Art Schwimmgürtel. Sie setzt das spec. Gewicht herab; aufserdem vergröfsert die Fettkapsel die Angriffsfläche für die Organe, welche die Niere in ihre Nische eindrücken. Auf diese Weise kann man sehr wohl begreifen, dafs eine Niere bei Fettschwund sich aus ihrer Nische herabsenken und bei Fettansatz wieder oben festgehalten werden kann.

An unserem Modell ist die Befestigung der Niere folgendermafsen veranschaulicht. Die gläserne Rückwand trägt einen ovalen Ausschnitt *O*, welcher von innen wasserdicht überklebt ist mit einer dünnen schlaffen Membran *Me.* Diese repräsentiert die Lamelle des Bauchfelles, welche die Niere vorn überzieht. Die Niere wird nun vertreten durch einen elypsoiden Holzkörper *Ho*, welcher innen hohl ist und mit Quecksilber *Hg* gefüllt werden kann. Das Holz repräsentiert das Fett und das Quecksilber die solide Substanz der Niere. Es mufs nun einmal das spec. Gewicht der Niere durch Einfüllen von *Hg* ein-

gestellt werden auf den Seitendruck des ovalen Loches *O* und zwar entsprechend den normalen statischen Verhältnissen bei straff gezogener Bauchwand *B*. Die Niere wird nun hinter die Membran gelegt und darüber kommt ein ausgehöhlter Glasdeckel *Gl*, welcher auf der Glaswand *G* angekittet ist. Dieser Deckel ist durchlöchert und läfst einen Faden *F* durchtreten, welcher an der Niere befestigt ist. Die Niere wird nun durch den hydrostatischen Druck gehalten und fällt, wenn dieser herabgesetzt wird. Dann hängt sie noch an dem Faden *F*. Dieser vertritt die Aufhängebänder der Niere, welche nur bei Dislokation in Funktion treten. Mit Hilfe dieses Fadens kann auch die Niere ohne Umstände wieder in ihre Höhle zurückgebracht werden.

Ich habe bei diesem Modell zum Zwecke des leichteren Verständnisses in absichtlich grober Weise diejenigen mechanischen Faktoren verkörpert, welche für die statischen Verhältnisse der Bauchhöhle in Frage kommen.

D) Untersuchungen an frei liegenden lebenden und toten Mägen.

Wenn wir einen Hohlkörper mit unelastischen Wänden, z. B. eine Papierdüte, aufblasen und zwar allmählich unter Bestimmung des Druckes bei jeder Volumsvergröfserung, so beobachtet man, dafs der Druck fast Null bleibt, so lange die Wand noch nicht entfaltet ist, dann aber plötzlich und fast senkrecht ansteigt bis zu der Höhe, bei welcher die Wandung zerplatzt.

Wenn wir aber eine Gummiblase, die sich im Wasser oder in der Luft befindet, mit Wasser oder Luft füllen, gradatim ansteigend bis zu bestimmten Volumina und jedesmal den zugehörigen Druck am Manometer messen, so beobachten wir:

1. Im Anfang bleibt der Druck 0. Die Wandung mufs sich erst entfalten, ehe das Ansteigen des Druckes infolge Wandspannung beginnen kann. Das maximale Fassungsvermögen beim Druck 0 bezeichnen wir als »Nullkapazität«.

2. Von der Nullkapazität an steigt der Druck innerhalb einer bestimmten Dehnungsgrenze proportional der Ausdehnung der Wand. (Hooksches Gesetz 1679.)

Aufserdem ist der Druck proportional dem Elastizitäts-koeffizienten des betreffenden Materiales.

Haben wir aber zwei Gummiblasen von gleichem Material und derselben Wanddicke, so wird die gröfsere durch denselben Druck mehr ausgedehnt als die kleinere, da die Verlängerung bei gleicher Kraft proportional ist der ursprünglichen Länge, also hier dem gröfsten Kreise der Kugel bei der Nullkapazität.

Der Druck ist ferner proportional der Oberfläche, wächst also quadratisch.[1]) Es kann sich infolgedessen ereignen, dafs der Druck bei steigender Ausdehnung sogar sinkt.

Sollen sich zwei elastische Hohlkugeln von demselben Material proportional ausdehnen und lastet auf beiden derselbe Druck, so mufs die Wanddicke proportional sein dem Radius der Nullkapazität. Ist die gröfsere Kugel nicht entsprechend stärker, so dehnt sie sich schneller aus und kommt auch eher zum Zerplatzen.

Dies Verhältnis hat auch für den Körper Bedeutung und erklärt sich hieraus die enorme Ausdehnung des Coecums bei Verschlufs im unteren Colon.[2])

3. Bei jedem Volumen wird der anfängliche Druck allmählich geringer. Es handelt sich hier um die sogenannte »elastische Nachwirkung«, welche besonders bei der Muskulatur sehr grofs ist. Wir können aber bei unseren Untersuchungen die definitive Länge nicht immer abwarten, wir müssen uns begnügen, wenn der Druck annähernd konstant ist. (Bei unseren Kurven wurde gewartet bis keine makroskopisch bemerkbare Abnahme des Druckes mehr eintrat.)

Wenn wir nach den Gesetzen über die Elastizität die Drucke berechnen, so finden wir, dafs die wirklich beobachteten Drucke unter den berechneten bleiben, dafs also mit der vermehrten Dehnung der Widerstand gegen die Dehnung abnimmt; mit anderen Worten, es tritt eine Erschlaffung ein; sie bildet sich aber zum grofsen Teile zurück und um so vollständiger, je mehr sich das Volumen der Nullkapazität nähert.

---

1) Die Spannung der Oberfläche ist nur das Multiplum ($\pi \times$ Constens) der linearen Dehnung.

2) Vgl. Anschütz, 31. Chirurgenkongrefs 1902, II, S. 426.

4. Bei Verminderung des Volumens durch Herauslassen des Inhalts fällt die Kurve niedriger aus, doch wird der Unterschied gegen die Nullkapazität hin allmählich geringer. Wir haben infolge der elastischen Nachwirkung hier für jedes Volumen einen niedrigeren Wert des Druckes, der allmählich etwas ansteigt.

5. Wird der Körper vollkommen entleert und sind wir über die Elastizitätsgrenze nicht hinausgegangen, so erhalten wir bei der 2., 3. Füllung etc. dieselben Werte wie bei der ersten.

6. Dehnen wir aber unsere Gummiblase immer stärker aus, so bemerken wir, dafs der Druck wieder sinkt; der Druck sinkt allmählich weniger und bleibt zuletzt ganz konstant. Bei diesem Drucke platzt die Blase: dieses Verhalten ist sehr merkwürdig und läfst sich meines Erachtens nicht anders erklären als durch eine Anderung des Aggregatzustandes. Gehen wir nämlich, bevor die Blase platzt, zurück bis zur Nullkapazität und völligen Entleerung, so beobachten wir eine dauernde Vergröfserung der Nullkapazität. Es ist also eine Strecke (nämlich die Differenz der neuen gegen die frühere Länge) aus dem elastischen in den unelastischen Zustand übergeführt worden. Der konstante Druck scheint mir ganz analog zu sein der konstanten Temperatur bei dem Schmelz- resp. Erstarrungsvorgange. Die inneren Spannungen bleiben bei Änderungen der Aggregatzustände konstant. Ganz analog verhält es sich mit der Fliefsgrenze der Metalle bei deren Dehnungskurve.

Folgende Werte entstammen einer Gummiblase, welche annähernd Magenform hatte.

100	0	1200	39,5	2300	35,5	3400	33
200	0	1300	39,5	2400	35	3500	32,5
300	0	1400	39,5	2500	35	3800	32
400	0	1500	39,5	2600	35	4000	31,5
500	2	1600	39	2700	35	4500	31
600	14,5	1700	38,5	2800	34,5	5000	30,5
700	26	1800	38	2900	34	5500	30,3
800	32	1900	37,5	3000	34	6000	30
900	36	2000	37	3100	33,7	6500	30
1000	38	2100	36	3200	33,5	7000	29,5
1100	39	2200	36	3300	33,5	8000	28,5

8 500	28	10 500	27,9	14 000	27,5
9 000	28	11 000	27,7	15 000	27,5
9 500	28	12 000	27,5	15 500	27,8
10 000	28	13 000	27,5	16 000	28

Hier platzt die Blase in der Nahtlinie. Auf beiliegender Kurve sind auf der Abszisse die dritten Wurzeln aus den Volumina aufgetragen.

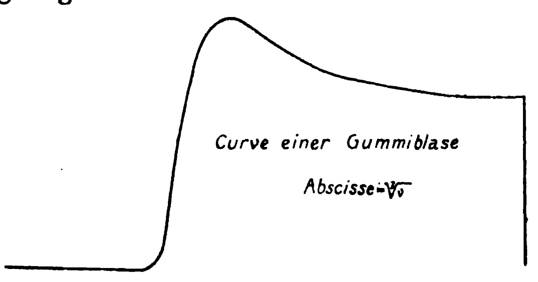


Fig. 3.

Wie verhält sich nun der Magen?[1])

Eine 7 Pfd. schwere nüchterne Katze wurde durch Abschlagen des Kopfes getötet. Der Magen wurde sofort herausgeschnitten, in physiologische Kochsalzlösung von Körpertemperatur gebracht. Der Pylorus wurde zugebunden, in die Cardia wurde eine Kanüle eingebunden. Wir blasen nun den Magen auf mit Hilfe unseres unter *B* beschriebenen Volumeters. Der Magen war absolut leer. Bei Beendigung des Versuches zeigt sich die Muskulatur noch in allen Teilen faradisch reizbar (vergl. Tafel XVI). Wir sehen daraus

1. dafs der normale leere Magen keine Nullkapazität hat,
2. dafs der Magen eine ziemlich starke elastische Nachwirkung zeigt, welche sich aber bei Entleerung des Magens annähernd zurückbildet.
3. dafs der Druck anfänglich proportional der Ausdehnung steigt, entsprechend dem Elastizitätsgesetz. Dafs er aber

1) Kelling, Volkmanns Sammlung No. 144. Pfaundler, Bibliotheca medica D., 1898. Triepel, Anat. Anzeiger Bd. 15 S. 301, 488; Bd. 17 S. 457. Merkel und Bonnets anatomische Hefte Bd. 10 S. 1; Bd. 14 S. 317. Einführung in die physikalische Anatomie 1902. Bergmann, Wiesbaden.

4. ziemlich plötzlich steil ansteigt, als ob zu der elastischen Muskelwand von einem gewissen Volumen an die Spannung einer zweiten unnachgiebigen Membran hinzukommt.

Wir machen diese Versuche ein zweites Mal (Tafel XVII), indem wir eine Katze von $4^3/_4$ Pfd. im nüchternen Zustand dekapitieren. Auch hier war der Magen am Ende des Versuches überall faradisch reizbar. Wir finden sämtliche aus dem obigen Versuch abgeleitete Gesetze bestätigt.

Wir untersuchen weiter, wie sich die Sache verhält, wenn wir direkt am lebenden narkotisierten Tiere operieren. Auch hier finden wir, dafs sich die Muskeln verhalten wie elastische Körper mit ausgeprägter, sich aber leicht zurückbildender elastischer Nachwirkung. (Tafel.) Am lebenden Tiere zeigt nun mitunter die Dehnungskurve vorübergehendes Steigen und Sinken des Druckes, als Ausdruck vorübergehender Kontraktion resp. Erschlaffung. Die Ursache ist unzweifelhaft in nervösen Einflüssen zu suchen. Charakteristisch ist aber, dafs auch bei der glatten Muskulatur diese vorübergehenden Innervationen an der Elastizität der Muskeln gar nichts ändern und die Kurve hinterher ganz in derselben Linie weiter verläuft: Vergl. V Feld 1 u. 5 und XII Feld 1.

Bemerkenswert ist noch folgendes:

Wenn wir festen Inhalt in den Magen bringen, so steigt der Druck mit beginnender Lufteinfüllung plötzlich, dann aber in einer Kurve, welche darauf hinweist, dafs die Spannung der Magenwand um den festen Inhalt genau die gleiche war, als ob dasselbe Quantum Luft darin enthalten sei. Dies alles weist unwiderleglich darauf hin, dafs der normale Magen weder im lebenden Tier noch im ausgeschnittenen Zustand eine Nullkapazität hat. Über diesen Punkt ist die Ansicht der Autoren noch irrig, z. B. Rosenfeld (Centralblatt für innere Medizin 1899 Nr. 1 u. Zeitschrift für klin. Medizin Bd. 37 S. 81) bemüht sich mit Hilfe des Röntgen-Verfahrens, die Gröfse des ohne Wandspannung aufgeblähten menschlichen Magens zu bestimmen. Er erklärt (Allgemeine medizinische Centralzeitung

1898 Nr. 80), daſs die natürliche Magengröſse nur diejenige ohne besondere Spannung der Wände sei. Nach dieser Definition würde dem normalen Magen überhaupt keine natürliche Gröſse zukommen, da wir bewiesen haben, daſs es für normale Mägen keine Nullkapazität gibt.

Meine Ergebnisse befinden sich ferner im Widerspruch zu Pfaundler, der für alle von ihm untersuchten normalen und kranken Mägen eine Nullkapazität gefunden hat (a. a. O. S. 26). Der Widerspruch wird durch zwei Faktoren verursacht: 1. durch die Methodik und 2. durch das Material Pfaundlers. Um letzteres vorweg zu nehmen, so hat dieser Autor unzweifelhaft zum Teil kranke überdehnte Mägen vor sich gehabt, welche thatsächlich Nullkapazität haben. Ferner hat er hauptsächlich an Säuglingsmägen gearbeitet, wo vor dem dritten Monat die Muskulatur noch gar nicht differenziert ist (a. a. O. S. 35). Es wird nun ausschlieſslich durch die Muskulatur die Nullkapazität aufgehoben. Nun könnte es noch daran gelegen haben, daſs die Muskulatur durch Fäulnis geschwunden ist. Dem widerspricht aber Pfaundlers Angabe (a. a. O. S. 20), daſs sein Material von »frischestem Aussehen und tadellosester Beschaffenheit« gewesen ist. Der Kardinalfehler Pfaundlers aber liegt in seiner Methode; er verfuhr folgendermaſsen (a. a. O. S. 20—23): In den Pylorus und die Cardia wurden zwei senkrechte Glasröhren eingebunden, von denen die eine zum Füllen des Magens mit Wasser eine graduierte Bürette war, während die andere als Manometer diente und zu diesem Zwecke auf ihr eine Centimeterskala eingeritzt war. Der Magen war völlig entleert und lag in einem Gefäſs vollständig mit Wasser bedeckt. Das Füllungsgefäſs war mit dem Magen durch einen gewöhnlichen Glashahn verbunden, welcher gestattete, die Füllung zu unterbrechen. Hingegen war zwischen Manometer und Magen ein Dreiweghahn eingeschaltet, dessen Durchbohrung sich genau einen Centimeter über dem Wasserspiegel im Gefäſs befand. Bei der einen Stellung des Hahnes stand das Wasser im Magen mit dem Manometer in Verbindung; bei der anderen Stellung läuft das Wasser aus dem Magen ab und wurde durch eine horizon-

tale Röhre in ein Mefsgefäfs geleitet. Der Magen wurde nun gefüllt bis der Druck 1 cm betrug und die Menge des zur Füllung verwendeten Wassers an der Bürette abgelesen. Nun wird der Magen bis zum Drucke von 2 cm weiter gefüllt. Merkwürdigerweise wird aber nun die Menge des verwendeten Wassers nicht bei der Füllung bestimmt, sondern indem der Dreiweghahn geöffnet und die Menge des abgelaufenen Wassers gemessen wird, welche der Magen auspreſst, bis der Druck wieder 1 cm beträgt. Die abgelaufene Menge wird nun wieder ins Füllgefäfs gegossen und neues Wasser in den Magen gelassen, bis der Druck 3 cm beträgt, dann wird dieses wieder abgelassen, ins Füllgefäfs gegossen und so fort. »Auf diese Weise macht man beim Drucke von 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 und 100 cm Wasser die Kapazitätsbestimmung und die Messung der nach Wiederherstellung des Druckes von 1 cm Wasser ausgepreſsten Flüssigkeitsmenge.« Das Verfahren ist merkwürdig kompliziert, ohne dafs man den Grund der Umständlichkeit einzusehen vermag und zudem noch für den Zweck, welchen Pfaundler damit erreichen wollte — nämlich die Elastizität der Magenwand zu bestimmen — ganz ungeeignet. Der Unterschied zwischen meinem Verfahren und dem Pfaundlers ist folgender: Ich fülle den Magen kontinuierlich mit bestimmten, sich gradatim steigernden Mengen und bestimme für jede Quantität den Druck, nachdem die elastische Nachwirkung makroskopisch nicht mehr deutlich zu Tage tritt. Pfaundler füllt den Magen jedesmal von neuem zu einem bestimmten höheren Druck und miſst nun die Menge des verwendeten Wassers daran, wieviel davon der Magen jedesmal auspreſst, bis zu dem willkürlich angenommenen Überdrucke von 1 cm.

Füllt man einen Körper mit ausgesprochener elastischer Nachwirkung, wie es unsere muskulösen Hohlorgane alle sind, gradatim an und bestimmt den Druck, so wird die Dehnungskurve, so weit die Muskulatur ausschlieſslich in Frage kommt, eine gerade Linie. Das ist bei jedem elastischen Körper innerhalb der Elastizitätsgrenze der Fall. In dieser Kurve ist die

elastische Nachwirkung mitenthalten. Die Kurve bleibt aber trotzdem eine gerade Linie, weil innerhalb der Elastizitätsgrenze die elastische Nachwirkung proportional der Spannung ist. Ohne elastische Nachwirkung würde die Kurve ebenfalls eine gerade Linie sein, sie würde aber steiler gehen, das heifst, sie würde einen gröfseren Winkel mit der Horizontalen bilden. Auch wenn wir den elastischen Hohlkörper nach der Entleerung ein zweites und drittes Mal aufblähen oder ihn zu verschiedenen Druckhöhen 10, 20 cm etc. füllen, so behält trotzdem die Kurve den gleichen Charakter.

Ganz anders aber verhält sich die Sache, wenn man die Kurve betrachtet, in welcher der Druck verläuft bei stufenweiser Verminderung des Volumens. Der Druck fällt dabei anfangs plötzlich, dann weniger schnell und nähert sich dem früheren Druck (bei der Füllung), welchen er aber erst im Nullpunkt erreicht. Die Kurve bei der Entleerung ist durchweg niedriger als die bei der Füllung. Aufserdem ist die Kurve bei der Entleerung verschieden, wenn man von verschiedenen Druckhöhen aus zurück geht. Je höher der Druck war, um so gröfser ist der Unterschied gegenüber der Kurve bei der Füllung. Die Differenz bei der Kurve erklärt sich daraus, dafs durch die Dehnung ein Teil des elastischen Stoffes in einen unelastischen Zustand übergeführt wird. Dieser unelastische Zustand kann sich zurückbilden und zwar um so mehr, je geringer die Spannung wird. Die Zurückbildung erfolgt prompt aber nur bei völliger Entleerung. Die Kurve bei der Entleerung, welche Pfaundler benutzen will zur Bestimmung der Elastizität, ist nach unseren Auseinandersetzungen für diese Zwecke ganz ungeeignet, weil in dieser Kurve die Erschlaffung der Muskulatur in wesentlicher Weise mit beteiligt ist. Für die glatten Muskeln spielt dieses Moment auch im normalen Zustand eine grofse Rolle. Infolgedessen mufs der Unterschied zwischen den normalen und den krankhaft überdehnten Muskeln viel weniger deutlich zu Tage treten bei der Kurve der Entleerung als bei der Füllungskurve. Aufser diesen prinzipiellen Einwendungen kommen aber nicht unwesentliche Fehler in Frage, welche der Methode Pfaundlers anhaften:

1. Überdehnt das Verfahren den Magen unnütz, denn, um z. B. zum Drucke 5, 10, 20, 30, 40, 50 cm den Magen zu füllen, mufs man jedesmal wieder bis zum Drucke 1 cm entleeren und von neuem füllen. Man mufs also anstatt einmal, den Magen sechsmal füllen und damit sechsmal dehnen.. Die Folge davon ist, dafs
2. die sogenannte Nullkapazität und auch die 1 cm-Kapazität, welche Pfaundler seiner Kurve zu Grunde legt, mit der Zahl der Dehnungen und mit der Höhe des Druckes vergröfsert wird. Da aber Pfaundler nicht die Füllungsmenge, sondern nur die Ausflufsmenge mifst, so merkt er dies nicht und legt seiner Dehnungskurve eine konstante 1 cm-Kapazität zu Grunde, während dieselbe für die höheren Drucke viel mehr betragen kann;
3. ist es falsch, für die Konstruktion der Kurve eine bei einem niedrigen Drucke bestimmte Kapazität zu Grunde zu legen, weil bei einem niedrigen Druck die Volumina viel mehr voneinander abweichen als bei einem höheren Drucke. Thatsächlich sind die 1 cm-Kapazitäten im Laufe eines Versuches oft sehr wechselnd und dürfen nicht als konstant betrachtet werden und darf man ferner aus den Ausflufsmengen nicht auf die Füllungsmengen schliefsen,
4. konstruiert Pfaundler den Teil vom 1 cm-Druck zum 0-Druck aus dem übrigen Teil der Kurve. Dieses Verfahren ist aber unzulässig; die Kurve mufs in diesen Teilen bestimmt werden, man kann nicht aus dem Verhalten bei höheren Drucken Schlüsse machen auf das Verhalten bei den niedrigsten Drucken.

Es ist sehr bedauerlich, dafs wegen der prinzipiellen und der speciellen Fehler der Pfaundlerschen Methode seine Resultate über die Elastizität des normalen und kranken Säuglingsmagens nicht zu verwerten sind und die ganze mühsame Arbeit noch einmal mit einwandsfreier Methode gemacht werden mufs. Die Dehnungskurven Pfaundlers haben folgende zwei Mängel: 1. Die

Abszisse der Kurve ist zu kurz, weil auf die Vergröfserung der 1 cm Kapacität mit der Erhöhung des Druckes nicht Rücksicht genommen worden ist. Was 2. die Koordinate anbetrifft, so ändert sich der Druck zu schnell, weil, anstatt den geringen elastischen Widerstand der glatten Muskeln zu schonen, die Methode Pfaundlers alles Mögliche thut, um durch Überdehnung die Elastizität der Muskeln zu schädigen. Die Folge davon ist, dafs ganz normale Mägen die Kurve von krankhaft überdehnten Mägen geben können. Ich bringe hier einige Zahlen als Beispiel. Als Material wurden die Mägen gesunder, im nüchternen Zustande frisch geschlachteter Hunde verwendet. Der Apparat wurde nach den Angaben Pfaundlers (a. a. O. S. 20) zusammengestellt; um aber die Fehlerquellen nach Möglichkeit zu vermeiden, habe ich die Sache in folgenden drei Punkten noch zu vervollkommnen gesucht:

1. Habe ich zur Füllung einen grofsen graduierten Cylinder benutzt, so dafs wir jederzeit über die Menge des in den Magen geflossenen und des darin enthaltenen Wassers unterrichtet waren.
2. Wurde der Abflufs so eingerichtet, dafs eine Heberwirkung des Ausflufsrohres auf den Mageninhalt vermieden wurde. Es geschah dies dadurch, dafs die Abflufsröhre mit dem Manometerrohr auch während des Abflusses in offener Kommunikation gelassen wurde. Anstatt des Dreiweghahnes wurde ein Theestück verwendet und ein Quetschhahn an der Ausflufsröhre angebracht.
3. Wurde versucht, das Wasserniveau konstant zu erhalten. Das Gefäfs, in welchem sich der Magen befand, wurde stets bis zum Überlaufen voll gehalten, und zu dem Zwecke dieses Gefäfs in ein zweites gröfseres gestellt. Trotzdem ist es aber nicht möglich, den Überdruck genau auf 1 cm zu halten, und Differenzen bis auf $1/2$ cm halte ich bei der Methode für unvermeidlich. Daher kommt es denn auch, dafs die Abflufsmengen, welche man erhält, wenn man von einem höheren Druck auf 1 cm Überdruck zurückgeht, sehr von einander abweichen. Dieses

ist einer der wesentlichsten Mängel der Pfaundlerschen Methode, dafs sie so inkonstante Werte ergibt; denn ob der Überdruck 1 oder $1^1/_2$ cm ausmacht, das hat in Bezug auf die Kapazität einen grofsen Einflufs, da die Dehnungskurve bei diesen Drucken sehr flach verläuft. Wenn wir Fehlerquellen bis zu 50% haben, so hört eben die Methode auf, wissenschaftlich verwendbar zu sein. Aufserdem ist gar kein vernünftiger Grund vorhanden, warum wir unserer Abszisse die schwankenden Ausflufsmengen zu Grunde legen sollen, anstatt der einwandsfrei konstant zu machenden Einflufsmengen.

1. Beispiel.

Kleiner gesunder Hund frisch geschlachtet, Magen leer und kontrahiert.

1. Stufenweise Füllung und Entleerung des Magens.

60	1,5	900	12,5
100	2,2	800	8
200	3,5	700	6
300	4,5	600	4,5
400	5	500	4
500	6	400	3
600	7,5	300	1
700	10	200	0
800	16	100	0
900	26		
1000	39		

Es wurde nun nach Pfaundler bestimmt.

Die Tabelle gibt links an, die im Magen bei der Füllung vorhandenen Mengen. Dann den dabei beobachteten Druck und dann wieviel abgelaufen ist, wenn der Druck auf 1 cm herabgesetzt wurde und die vierte Rubrik, wie grofs bei den einzelnen Bestimmungen die 1 cm-Kapacität war.

Füllungsmenge		Druck	Ablaufmenge	1 cm-Kapacität
400		1 cm	0	400
700	(+ 300)	3,5	40	660
770	(+ 110)	4	20	750
820	(+ 70)	5,5	200	620
850	(+ 230)	8	290	560
900	(+ 340)	16	340	560
960	(+ 400)	30	400	560

2. Beispiel.

Frisch geschlachteter Hund, nüchterner, kontrahierter Magen

Füllung		Entleerung	
100	5	1200	11,5
200	9	1100	8
300	11,5	1000	7
400	13,5	900	5
500	16	800	4
600	18	700	3,5
700	19,5	600	2,5
800	20,5	500	1,5
900	21	400	1
1000	23	300	0,75
1100	26	200	0
1200	29,5	100	0
1300	34		

Und nun nach Pfaundler:

Füllungsmenge		Druck	Ausflufsmenge	1 cm-Kapacität
830		1,5	50	770
870	(+ 100)	6,5	40	830
930	(+ 100)	9,5	115	815
1015	(+ 200)	11,5	545	470
1170	(+ 700)	20,5	700	470
1320	(+ 850)	35	700	620
1420	(+ 800)	42	730	690

Im Magen wurden nun 700 ccm Inhalt gefunden. Der Magen wurde nun völlig entleert und blieb 24 Stunden im Wasser liegen. Er war jetzt namentlich im Pylorusteil stark kontrahiert. Die Kontraktion war so ausgesprochen, dafs selbst bei einer Füllung des Magens bis zu 1000 ccm Wasser in dem Steigrohr, welches die Druckhöhe angeben sollte und welches in den Pylorus eingebunden war, kein Wasser erschien, weil der kontrahierte Pylorusteil kein Wasser hindurch liefs. Diese Kontraktion zu überwinden wurde der Magen bis zu 1400 ccm und zum Drucke von 27 cm gefüllt, und nun wieder alles entleert und danach die Bestimmung nach Pfaundler vorgenommen. Wir erhielten nun folgende Werte:

Füllungsmenge		Druck	Ausflufsmenge	1 cm-Kapacität
1100		3,5	475	625
1100	(+ 475)	2,5	400	700
1300	(+ 600)	14	470	830
1350	(+ 520)	22,5	480	870
1400	(+ 530)	31	430	970

Die 970 ccm Wasser wurden thatsächlich aus dem Magen wieder entleert. Es macht also nach dieser Methode der ganz normale Magen den Eindruck eines krankhaft überdehnten Magens, weil der Magen konstant gefüllt bleibt und demnach die schon in normaler Weise schwachen elastischen Kräfte kaum mit in Funktion treten können. Das Verfahren von Pfaundler ist auch insofern schlecht, als es den physiologischen Verhältnissen nicht angepafst ist; denn die Austreibungskräfte des Magens, welche wir doch kennen lernen wollen, wirken meist von einer mittleren Kapacität zur Nullkapacität, also zur völligen Entleerung hin. Die Kräfte innerhalb dieser normalen Spielweite werden bei dem Pfaundlerschen Verfahren gar nicht untersucht.

Von allgemeinen Vorgängen, welche Einflufs auf die Dehnungskurve des Magens haben können, sind folgende von Bedeutung: 1. Die Fäulnis, 2. die Totenstarre, 3. der Grad der Füllung, 4. der Grad der Erschlaffung resp. Kontraktion. Was nun 1. die Fäulnis anbetrifft, so ergreift sie denjenigen Teil der Muskulatur, welchem die elastischen Eigenschaften zukommen. Unsere Dehnungskurven zeigen, dafs die Fäulnis die Elastizität der glatten Muskeln stark herabsetzt. Sind die Muskeln sehr faul geworden, so wird die Dehnungskurve fast nur noch von dem Bindegewebe und den elastischen Fasern hervorgerufen. Wir dürfen deshalb zur Bestimmung der Muskelelastizität faule Organe niemals verwenden.

2. Die Totenstarre. Pfaundler sagt zwar in seiner Monographie auf Seite 13: »Mit der vulgären Totenstarre der quergestreiften Muskulatur hat die Starre der Magenwand nichts gemein.« Doch unterliegt es keinem Zweifel, dafs die glatte Muskulatur des Magens analog der quergestreiften totenstarr und darnach wieder weich wird. Der Muskel kann seine Totenstarre verloren haben, ohne faul geworden zu sein. Durch die früheren Untersuchungen von Bierfreund[1]) und die neueren Untersuchungen von Weifs[2]) ist dies festgestellt. Es können aber

1) Pflügers Archiv 1888, Bd. 43 S. 195.
2) Ref. Deutsche med. Wochenschr. 1902, V.-Bd. 22 S. 168.

auch Muskeln teilweise in Fäulnis übergegangen sein, ohne ihre Totenstarre verloren zu haben. Die Kapazität des Magens ist bei niederen Drucken sehr abhängig von dem Bestehen oder Nichtbestehen der Totenstarre. Füllt man z. B. einen frisch herausgeschnittenen Magen bis zur Kardia mit Wasser, entleert den Magen und läfst ihn nun totenstarr werden, so braucht man dann für die Füllung bis zur Kardia viel weniger Wasser, unter Umständen nur ein Drittel. Die mechanische Bedeutung der Starre der glatten Muskeln ist auch den Physiologen seit langem bekannt. So gibt Kühne an[1]), dafs es eines weit höheren Druckes bedarf, wenn man einige Stunden nach dem Tode die Harnblase des Hundes bis zur annähernden Herstellung der Kugelform erweitert, als wenn man dasselbe unmittelbar nach dem Tode des Tieres thut. Die Frage der Totenstarre hat auch zu gröfseren Irrtümern bei Beantwortung klinischer Fragen geführt[2]) und deswegen ist es nicht überflüssig, den Einflufs der Totenstarre an einzelnen meiner Kurven zu demonstrieren. Dafs der Magen eines Tieres totenstarr wird, kann man daran erkennen, dafs die Dehnungskurve steiler geworden ist als die Kurve des frisch herausgeschnittenen Magens. Man vergleiche z. B. bei XII. das dritte und vierte Feld, ferner bei VIIIb den Unterschied im ersten und zweiten Feld. Den gewaltigen Einflufs der Lösung der Totenstarre zeigt der Unterschied zwischen dem zweiten und dritten Feld. Sehr charakteristisch ist ferner XIc, wo infolge der sich entwickelnden Totenstarre die Kurven beim zweiten, dritten und vierten Aufblähen allmählich steiler werden. Beweisend für die ausgebildete Totenstarre ist es, dafs die Kurve beim zweiten Aufblähen viel niedriger ausfällt als beim ersten. Vgl. IVa. Dies Verhältnis ist analog dem der quergestreiften Muskulatur. Auch hier brauchen wir zur Überwindung der Starre eine grofse Kraft; nachdem dies aber einmal geschehen ist, leistet der Muskel für eine erneute Dehnung nur einen geringen Widerstand. Man glaube nun aber nicht, dafs nach Lösung der Starre der Muskel seine Elastizität verloren hat, sondern die Kurven zeigen eine

1) Cit. nach Hermanns Handbuch d. Physiol. 1879, Bd. 1 S. 340.
2) Fleischmann, Zuccarelli und Pfaundler.

fast gleichbleibende Elastizität für wiederholte Dehnungen. Es zeigt sich auch, dafs dem Muskel eine ausgesprochene elastische Nachwirkung geblieben ist. So fällt die Kurve beim Herauslassen bedeutend niedriger aus als beim Aufblasen, beim folgenden Einblasen aber wieder beträchtlich höher. Es frägt sich nun, ob man die Elastizität des Muskels nach der Aufhebung der Totenstarre in Beziehung bringen kann zur Elastizität des lebenden Muskels. Meiner Ansicht nach ist dies thatsächlich der Fall. Die Elastizität kann nach Lösung der Totenstarre gerade so grofs sein wie im lebenden Muskel; dafs sie aber meist geringer ist, das liegt darin, dafs mit der Lösung der Totenstarre in der Regel Fäulnisvorgänge Hand in Hand gehen. Die Totenstarre, welche so viele Analogien mit der Kontraktion des lebenden Muskels hat, gleicht ihr auch darin, dafs sie mit der Elastizität des Muskels nichts zu thun hat. Es ist ein Widerstand, der zur Elastizität hinzukommt und wieder verschwindet.

3. Hat der Inhalt des Leichenmagens einen Einflufs auf die Gestalt der Dehnungskurven. Wenn wir nämlich den gefüllten Magen aufblähen, so steigt der Druck ziemlich plötzlich an, biegt dann in ein Knie um, um dann allmählich mit der Volumensvergröfserung anzusteigen. Die Verlängerung dieser Linie weist dann auf den Nullpunkt hin, wie dies ja fast alle unsere Kurven zeigen und sie beweist ferner, dafs die Elastizität der Muskeln gut ist, indem sie nämlich schon von Anfang an in elastische Dehnung geraten. Dieses Knie in der Kurve ist charakteristisch für die normale Elastizität gefüllter Leichenmägen. Bei krankhaft überdehnten Mägen fehlt dieses Knie oder ist nur wenig ausgeprägt, und der Druck steigt in einer nach unten konvexen Linie an, deren Fufspunkt vom Nullpunkt entfernt ist. Für die Beurteilung der Kurve mufs man ferner berücksichtigen den Grad der Füllung. Ist der Magen sehr gefüllt, so können die Muskeln bis zu demjenigen Grade gedehnt sein, bei welchem schon die Spannung der Serosa und der Schleimhaut den steilen Anstieg der Kurve bedingt. Da in diesem Teil die Dehnung der Muskulatur bei der Kurve kaum noch mitspielt, treten hier auch die Unterschiede zwischen normalen und kranken Muskeln

zurück. Der steile Anstieg der Kurve in diesem Teile beweist einen von der Elastizität der Muskeln unabhängigen Faktor, welcher zu suchen ist in dem Widerstand der gestreckten Bindegewebsfasern der Serosa, Muskularis und Mukosa. Dafs dieser Anstieg nicht aus den Eigenschaften der elastischen Muskelfasern abzuleiten ist, folgt aus der elastischen Nachwirkung, welche diese Muskulatur zeigt und welche mit steigender Spannung gröfser wird. Die Kurve müfste also von einem bestimmten Drucke ab wieder sinken (vgl. oben die Kurve der Gummiblase), was thatsächlich auch geschehen würde, wenn wir die glatte Muskulatur frei von ihren Bindegewebsfasern untersuchen könnten. An diesem Widerstande hat die Serosa einen gröfseren Anteil als die Muskularis, was ich dadurch beweisen konnte, dafs ich denselben Magen einmal in gewöhnlicher Lage und dann völlig umgestülpt mit nach aufsen gekehrter Schleimhaut aufblies. Es fiel dann die Kurve niedriger aus. Damit stimmt auch, dafs bei Überfüllung die ersten Risse meist in der Serosa entstehen.

4. Mufs noch besprochen werden, welchen Einflufs der Grad der Kontraktion resp. der Erschlaffung im Leben auf den Zustand des toten Organes hat. Pfaundler weist diesen Faktoren einen grofsen Einflufs zu; er unterscheidet geradezu systolische und diastolische Leichenmägen und sagt, dafs es sich um »eine im Moment des Todes festgehaltene, unverändert bestehen bleibende Phase seiner motorischen Aktion« handelt[1]). Nach meinen Untersuchungen hat der Zustand der Aktion im Leben gar keinen Einflufs auf die physikalischen Eigenschaften im Tode. Im Leben werden allerdings die Leistungen des Magens nicht durch seine Elastizität, sondern vielmehr durch die Kontraktionen, resp. die Erschlaffungen bestimmt. Diese Leistungen hängen aber vom Nervensystem ab und erlöschen mit dem Tode des Innervationsmechanismus. Ich habe z. B. folgendes Experiment gemacht: Einem Hunde wurde das Duodenum nach seinem Durchtritt durch die Radix mesenterii unterbunden. Nach

1) a. a. O. S. 13.

24 Stunden wurde der Hund durch Schlag auf den Kopf getötet. Der Magen war mit Flüssigkeit und Luft gefüllt, schlaff und grofs. Es bestand hier entschieden eine reflektorische Erschlaffung. Der Magen wurde jetzt ausgeschnitten, durch die Kardia ein Schlauch eingeführt, und dann das Organ sich selbst überlassen. Die Erschlaffungen blieben nicht bestehen, sondern der Magen zog sich ad maximum zusammen. Eine nun aufgenommene Dehnungskurve ergab, dafs der Magen sich nicht durch einen Kontraktionszustand seiner Muskeln zusammengezogen hatte, sondern passiv allein durch seine Elastizität. Das letztere konnte man durch die Messung der Kraft, mit welcher das Organ der stufenweisen Füllung widerstand, mit Sicherheit entscheiden. Wenn Pfaundler bei einigen seiner systolischen Mägen einen besonderen Widerstand gefunden hat, so rührt derselbe doch nur von der Totenstarre her. Es verhält sich also bei der glatten Muskulatur genau so wie bei der Körpermuskulatur. Auch hier haben etwaige agonale Krämpfe auf den Kontraktionszustand der Muskulatur keinen Einflufs, sondern dieselben lösen sich und die Muskeln werden starr in der Lage, welche die Leiche nach Aufhören der Innervation einnimmt. (Ausnahme die enorm seltene kataleptische Totenstarre.)

Wer allein den Befund bei der Sektion betrachtet, dem werden meine Behauptungen unwahrscheinlich vorkommen. Man sieht nämlich so viele Erscheinungen an den Leichenorganen, welche nur Lebensäufserungen gewesen sein können, wie z. B, Einschnürungen am antrum pylori, Kontraktionen am Darme etc., dafs es scheint, als ob hier thatsächlich durch einen besonderen Vorgang, vielleicht eine besondere Starre, die Eigenschaften des Lebens erhalten seien. Die pathologischen Anatomen sind zu dieser Annahme meist sehr geneigt und sie bezeichnen ohne weiteres die Organe nach dem vorliegenden Befunde als grofs und erschlafft, klein und kontrahiert etc. und machen so fälschlicherweise aus einem Zustande eine Eigenschaft. Derselbe Fehler wird auch sehr häufig beim Herzen gemacht und ein diastolisches Herz als grofs und schlaff bezeichnet, was aber im Leben ausgezeichnet funktioniert hat, und umgekehrt. Der Zustand der

Leichenorgane wird aber durch die passiven Eigenschaften bestimmt, nämlich den Grad der Füllung, die Elastizität der Wandung, die Umgebung und auch die Totenstarre (die Totenstarre wirkt kontrahierend); ihre Kraft ist aber beim Magen, wie ich gefunden habe, viel geringer als die Kraft der Kontraktion. So z. B. ergab ein frisch herausgeschnittener leerer Hundemagen, den ich mit 700 ccm Luft gefüllt hatte, einen Druck von 8 cm. Er wurde in Wasser von 35° R. gebracht und kam in Wärmestarre. Der Druck stieg aber nur um 1 cm, während sich vorher am lebenden Tiere bei derselben Füllung der Druck um 10 cm steigern liefs durch Reizung der Vagi. Ein zweiter Versuch ergab eine Drucksteigerung von 12,6 auf 14 cm bei Füllung eines Kaninchenmagens mit 260 ccm Luft bei der Wärmestarre.

Diese passiven Kräfte aber, die Elastizität und die Totenstarre sind gering im Vergleich zu den aktiven Kräften des Lebens und sie können mitunter nicht einmal die inneren Widerstände überwinden. Das ist auch der Grund, weshalb man so häufig an Leichen die Lebensform wiederfindet. Von gröfserem Einflufs, der die Form verändern kann, halte ich die Umgebung besonders wichtig beim Herzen. So kann aber z. B. auch in der Bauchhöhle negativer Druck entstehen bei forcierter Exspirationsstellung des Diaphragmas. Die Folge davon ist, dafs sich die Organe ausdehnen Ich glaube, dafs die mit Luft gefüllten schlaffen Mägen, die man in Leichen bei Leerheit der Därme nicht selten findet, auf diese Weise entstehen. (Ich kenne auch eine Anzahl Patienten, namentlich solche mit Gastroptose, die fortgesetzt über Luftfülle im Magen klagen und die wahrscheinlich von der Magerkeit und von der Leerheit der Därme herrührt. Die Luft wird aspiriert, um den Hohlraum auszufüllen. In der Regel verordnen die Ärzte eine fast vollkommen verdauliche, leichte Diät und machen damit den Zustand schlechter, als wenn die Patienten Speisen bekommen, welche die Därme füllen und durch Gärung Gas entwickeln.) Ich meine, dafs die Kontraktionszustände resp. Erschlaffungszustände insofern einen Einflufs auf die Dehnungskurven des Magens haben, als sie das

Volumen desselben im Leben bestimmen, welches, im Körper der Leiche wesentlich zu ändern, die passiven Eigenschaften häufig nicht ausreichen.

Von beträchtlichem Einflufs auf das Volumen des Magens sind die Konservierungsmethoden. Dafür diene folgendes Beispiel: Ein Katze frafs pro Mahlzeit 100 g Fleisch mit 200 g Milch. Sie wurde im nüchternen Zustand durch Schlag auf den Kopf getötet. Der leere Magen wurde mit 50 ccm Luft gefüllt und zum Trocknen aufgehangen. Es wurde nun versucht, den getrockneten Magen ad maximum mit Luft zu füllen. Aber selbst bei einem Drucke von 104 cm Wassersäule fafste er nur 50 ccm. Die Wandung war so starr geworden, dafs der Magen nicht grofs zu bekommen war. Vor dem Trocknen aber fafste derselbe Magen bei 71 cm Druck 250 ccm. Man sieht hieraus, dafs solche Volumensbestimmungen, wie sie Ewald und andere ausgeführt haben, welche den Magen beliebig bis zur Rundung füllten und dann trockneten, und nun seine Kapazität gemessen haben, auch nicht annähernd das Fassungsvermögen erkennen lassen. Ein anderes Beispiel. Eine Katze von 9 Pfund Gewicht wurde nüchtern getötet. Bei 33 cm Wasserdruck fafste der Magen 470 ccm. Dieser Magen wurde im entleerten Zustande in kochendes Wasser gelegt und nun fafste er selbst bei dem doppelten Druck von 60 cm nur noch 50 ccm. Er liefs sich erst durch einen Druck von 190 cm auf 330 ccm ausdehnen. Ähnlich wie das Kochen wirken Härtungen mittels Chemikalien, welche das Eiweifs gerinnen machen, wie Alkohol, Formalin, Sublimat etc.

Wir kommen nun zur Quintessenz dieses Kapitels, nämlich: Wie müssen wir uns verhalten, wenn wir Hohlorgane von Leichen auf ihre physikalischen Eigenschaften, Gröfse, nämlich Elastizität, Festigkeit untersuchen wollen. 1. Müssen sämtliche Konservierungsmittel ferngehalten werden; 2. dürfen die Organe nicht faul sein; 3. müssen wir sie im möglichst leeren Zustande der Untersuchung unterziehen. Dies darf aber nicht so geschehen, dafs wir sie ausschneiden, mit Wasser durchspülen und den Inhalt auskneten, sondern indem wir einen Schlauch einführen,

bei der Leiche eventuell durch den Mund und durch Aspiration flüssigen und gasförmigen Inhalt herausholen. Damit sich der Magen zusammenziehen kann, müssen wir an der Leiche die Bauchhöhle durch einen Schnitt öffnen. Der feste Inhalt bleibt am besten während der Untersuchung im Magen, seine Menge wird erst hinterher bestimmt und in Anrechnung gebracht.

4. Die Untersuchung mufs so erfolgen, dafs wir das ausgeschnittene Organ stufenweise füllen und zwar drei- bis viermal

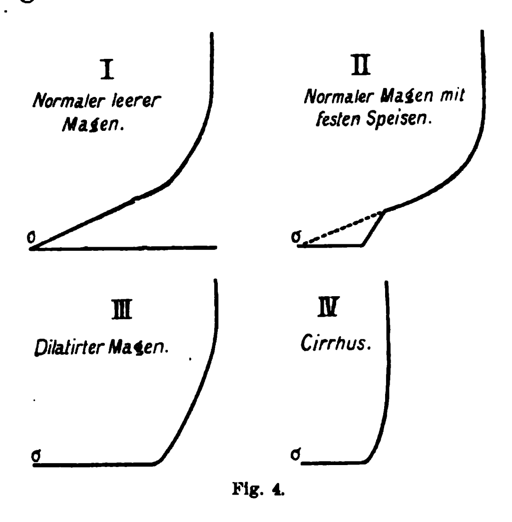


Fig. 4.

hintereinander nach jedesmaliger Entleerung. Bei der stufenweisen Füllung wird jedesmal der Druck bestimmt; der höchste Druck soll aber nicht mehr als 20 cm betragen. Aus diesen Bestimmungen erhalten wir Kurven innerhalb der Dehnungsbreite der Muskulatur und können erkennen, ob sich die Muskulatur im Zustand der Totenstarre befindet und wie ihre Elastizität beschaffen ist. Dann machen wir zum Schlufs nochmals eine stufenweise Füllung, steigen aber diesmal bis zu einem hohen Druck von 75—100 cm Wasser an. Hieraus lernen wir das Volumen kennen, von welchem an die straffen Serosafasern die Kurven bestimmen und erfahren daraus auch die Maximalkapazität des Magens. Es unterscheiden sich nun die Mägen durch die verschiedene Länge der Abszisse, durch die verschiedene Nullkapazität, durch den Winkel, welchen die Kurven mit der

Horizontale bildet. Als Beispiel sind hier vier Idealkurven aufgezeichnet, um die charakteristischen Unterschiede zu Tage treten zu lassen.

Es ist mir leider nicht möglich gewesen, das beschriebene Verfahren an einem grofsen menschlichen Leichenmaterial durchzuführen, da es mir in meiner Eigenschaft als praktischer Arzt sowohl an Zeit als an Gelegenheit dazu mangelt. Es wäre aber sehr wünschenswert, dafs derartige Untersuchungen bald angestellt würden, damit wir für unsere klinischen Begriffe Mägen, Atonie, Megalogastia, Dilatatio und Cirrhose normale Zahlenwerte bekommen, und damit eine Unterlage für die Diskussion dieser Begriffe, über welche sich jetzt noch manche Autoren sehr unklar sind (vgl. z. B. den Ausdruck mechanische Insufficiens ersten und zweiten Grades). Charakteristische Dehnungskurven am Lebenden aufzunehmen, ist unmöglich, weil die Organe in ihrer Ausdehnung durch die Umgebung viel zu sehr gehindert werden.

Es fragt sich nun, wie bestimmt man am einfachsten und in brauchbarer Weise bei Sektionen die Kapazität des Magens? Darauf ist zu antworten, dafs das Fassungsvermögen des Magens rationellerweise nur als Maximalkapacität bestimmt werden kann. Man schneidet das Organ aus, bindet den Pylorus zu und bindet in die Kardia eine Kanüle ein. Über die Kanüle steckt man einen weiten Schlauch, der mindestens 1 m lang ist und giefst durch einen Trichter Wasser ein. Der Magen mufs so gehalten werden, dafs die Kanüle immer den höchsten Punkt einnimmt, damit die Luft durch den Schlauch entweichen kann. Das Wasser mufs so lange nachgegossen werden, bis es im Trichter stehen bleibt, so dafs der Magen unter einem Drucke von 1 m Wasser oder mehr gefüllt ist. Der Magen wird nun aufgeschnitten und die Menge des darin befindlichen Wassers gemessen. Das Verfahren ist einwandsfrei, weil bei diesem Drucke der Magen maximal entfaltet ist. Was nun die Festigkeit anbetrifft, so hält jeder normale Magen diesen Druck von 1 m aus, vergröfserte hypertrophische Mägen erst recht. Ausnahme macht nur Karcinom und Ulcus. Bei diesen fange man mit geringer

Druckhöhe an zu füllen und steigere die Druckhöhe allmählich. Legt man den Magen in ein Gefäfs und verschliefst den Zuflufs im Momente des Platzens, so kann man auch hier die Kapacität bestimmen, mufs aber die Niveaudifferenz zwischen dem Wasser im Trichter und dem Magen angeben. Magenkapacitäten ohne Angabe der Druckhöhe sind wertlos. Ich habe bei sieben Männern, welche an Tuberkulose verstorben waren, die Magenkapacität bei 1 m Wasserdruck bestimmt. Die Werte ergaben: 2500, 3100, 3900, 4300, 4400, 4500, 4300. Mit der Gröfse des Magens mufs die Dicke der Muskulatur im Zusammenhang stehen. Ich habe schon in meinen früheren Arbeiten darauf hingewiesen, dafs ein gröfserer Magen dickere Muskeln haben mufs als ein kleiner Magen, nicht damit er mehr, sondern damit er dasselbe leisten kann wie ein kleiner.[1]) Es verhält sich hier wie bei einer Gummiblase, welche sich durch ihre eigene Elastizität entleeren soll gegen einen konstanten Widerstand. Je gröfser eine Blase ist, um so dicker mufs ihre Wandung sein und von um so besserer Qualität der Gummi. Die Verfahren, welche die pathologischen Anatomen einschlagen, um die Hypertrophie der Muskeln zu bestimmen, sind in physikalischer Beziehung auch unhaltbar. Es wird nämlich die Dicke der Muskulatur an dem gerade vorliegenden Kontraktionszustande gemessen. Damit fehlt aber die Vergleichsgrundlage, denn um die Dicke verschiedener Muskeln zu vergleichen, mufs man sie auf die gleiche natürliche Länge bringen. Als natürliche Länge kann nun entweder die maximale oder die minimale Länge betrachtet werden. Am einwandfreiesten ist die Methode, den Magen ad maximum zu füllen, zu härten und dann die Dicke des Muskels zu bestimmen.

Am Schlusse dieses Kapitels, in welchem wir uns zur Hauptsache mit der Frage der Elastizität der glatten Muskulatur beschäftigt haben, will ich noch ein paar Worte sagen über die Bedeutung der Elastizität. Die Elastizität der glatten Muskeln ist aufserordentlich klein, und hieraus erklärt sich die grofse Nachgiebigkeit des Verdauungstraktus gegen seine Umgebung. Infolgedessen können sich die Eingeweide so vortrefflich aneinander

1) Boas Archiv Bd. 6 S. 458

schmiegen, dafs kein leerer Raum in der Bauchhöhle entsteht. Das ist also die passive nützliche Eigenschaft der Elastizität gegen äufsere Einwirkungen. Es fragt sich nun, ob die Elastizität auch in Beziehung steht zu dem aktiven Kontraktionsvermögen des Muskels. Die sehr verbreitete Ansicht, dafs die Elastizität bei der Kontraktion die Bedeutung einer Feder hat, welche zur Vermeidung des Anrückens eingeschaltet ist zwischen Kraft und Last, mufs man fallen lassen. Man bedenke nur, dafs bei zusammengezogener Muskelfaser der Elastizitätsmodul den 10. bis 100. Teil der absoluten Muskelkraft ausmacht. Die Einschaltung einer so schachen Feder könnte nur für den ersten Moment der Zuckung in Frage kommen. Was hat nun aber die elastische Substanz, die doch offenbar sehr ausgebreitet im Muskelgewebe enthalten ist, für eine andere Bedeutung? Diese Frage ist nicht zu beantworten, ohne dabei die Theorie der Muskelkontraktion zu berücksichtigen. Die physikalischen Untersuchungen ergeben, dafs die Elastizität und das Kontraktions- resp. Erschlaffungsvermögen zwei ganz verschiedene Dinge sind. Die Elastizität hängt nur von der Länge der Muskelfaser ab, ganz gleichgültig, ob sich dieselbe für diese Länge im Zustand der Kontraktion resp. reflektorischen Erschlaffung befindet. Anderseits ergibt aber die klinische Erfahrung, dafs alle Muskeln mit schlechter Elastizität auch schlechte Kontraktionskraft haben. Ich erinnere hier an die Atonie des Magens, an die schlechte Beschaffenheit der Bauchpresse bei Hängebauch, an die ersten Grade der Arteriosclerose: es gibt auch solche Zustände angeboren bei der Körpermuskulatur, wo die Muskeln schlaff wie ausgeleierter Gummi sich von den Knochen abheben lassen und wo ihre Kraft herabgesetzt ist. Ich erinnere ferner an die akute Dilatation des Magens, wo wir sehen, welche Schädigungen der Kontraktionskraft durch Überdehnung der Muskeln zu stande kommen. Nach den physikalischen Untersuchungen kann die elastische Substanz nur in den Muskelfasern selbst sich befinden. Das Sarkolem ist viel zu fest für die geringe Elastizität. Die Befestigung der elastischen Substanz kann auch keine andere sein, als dafs die beiden Enden jeder Faser durch ein elastisches Mittel zusammengehalten werden. Dies

entspricht auch der Erfahrung, dafs die Muskeln sich stets retrahieren bei Durchschneidung, gleichgültig wo und in welcher Stellung wir in den Körper einschneiden. Was nun das Kontraktionsvermögen des Muskels anbetrifft, so schliefse ich mich den Autoren unbedingt an, welche die Ursache in einer Quellung vermuten, dadurch wird der Muskel dick und zieht sich zusammen. Wenn ich es also drastisch ausdrücken soll, der Muskel wird nicht dick, weil er sich kontrahiert, sondern weil er dick wird, zieht er sich zusammen. Mit dieser Annahme begreift man auch, dafs es sehr viele kleine Kästchen sein müssen, welche durch Quellung kurz und dick werden; denn bei grofsen Hohlräumen ist das Prinzip mechanisch nicht durchführbar wegen der Faltenbildung in der Wandung. Welche Rolle spielt nun hierbei die elastische Substanz? Meiner Ansicht nach spielt die elastische Substanz die Rolle eines Füllmaterials, welche die Wände der Muskelkästchen in jeder der wechselnden Längen in leichter Spannung hält. Dadurch wird erzielt, dafs die Quellung bei der Kontraktion sofort zur Verkürzung der Faser führt. Ich denke mir die Sache so, dafs die elastische Substanz ein Schwämmchen vorstellt, in dessen Poren die quellbare Substanz (isotrope und anisotrope) sich befindet. Es besteht also ein bestimmtes günstigstes Verhältnis zwischen der elastischen Substanz und der quellbaren Substanz der Muskelkästchen. Daraus würde sich erklären, dafs Mangel an Elastizität wegen schlechter Füllung der Muskelkästchen Mangel an Muskelkraft nach sich zieht. Was nun die Quellung der zweiten Substanz der Muskelkästchen anbetrifft, so vermute ich, dafs die auslösende Ursache in einem chemischen Prozefs liegt, der sich zwischen dieser Substanz und der interfibrillären Masse der Muskelfaser abspielt. Die motorische Endstelle des Nerven würde dann auf die interfibrilläre Substanz wirken, woraus man verstehen könnte, dafs bei Säugetieren für jede Muskelfaser nur eine solche Platte vorhanden ist.

E. Vitalkapacität beim Menschen.

Was die Bestimmung der Vitalkapazität beim Menschen anbetrifft, so gibt es hierfür zwei Methoden: Die eine stammt von

Jaworski, die andere von mir. Jaworski bläst den Magen bis zu einem bestimmten Drucke mit Luft auf und mifst die Menge der verwendeten Luft. Das Verfahren hat folgende Nachteile; 1. Wenn Luft durch die Kardia entweicht, ist die ganze Bestimmung illusorisch. 2. Kann Luft in den Pylorus in unkontrollierbarer Menge entweichen. Das letztere geschieht hauptsächlich bei langsamer Füllung. Ich habe deswegen vorgezogen die Menge der zum Aufblähen verwendeten Luft nach der Entleerung zu messen, indem sie in einem Mefscylinder unter Wasser aufgefangen wird. Wenn Ewald neuerdings, und zwar erst zehn Jahre nach der Ausbildung meines Verfahrens, gelegentlich einer Diskussion über die spindelförmige Erweiterung der Speiseröhre, unerwartet Prioritätsansprüche erhebt[1]), so mufs ich dieselben energisch zurückweisen. Wenn Ewald sagt, dafs die Methode, die Menge eines Gases durch Auffangen unter Wasser zu bestimmen, weder ihm noch mir eigentümlich sei, so ist dies insofern richtig, als dies die Gasanalytiker schon längst gethan und insofern falsch, als es hier auf etwas anderes ankommt, nämlich darauf, wer zuerst aus diesem Verfahren eine brauchbare Methode zur Bestimmung der Magenkapazität gemacht hat. In dieser Beziehung sind Ewalds Prioritätsansprüche vollkommen hinfällig, denn weder habe ich die Idee von ihm (dieselbe ist schon publiziert in meiner Dissertation über die Ermittelung der Magengröfse, Leipzig 1900 S. 35), also zu einer Zeit, wo ich Ewald gar nicht kannte, und wo in seinen Schriften kein Wort darüber zu finden war, noch hat es Ewald verstanden die Idee zur Methode auszubilden. Ein wie mangelhaftes Verständnis er für die Sache gehabt hat, das läfst sich aus seinem Buche: Klinik der Verdauungskrankheiten, III. Auflage, S. 87 und S. 256 beweisen, wo er meine Methode als unzuverlässig hinzustellen sich bemüht. Einmal soll Luft in die Därme entweichen (was aber bei der Messung nach meiner Methode infolge des schnellen Absaugens nicht in Frage kommt), anderseits soll S. 87, das Fassungsvermögen zu verschiedenen Zeiten, selbst bei derselben

1) Berl. klin. Wochenschr. 1902, No. 14 S. 315.

Person, innerhalb beträchtlicher Breiten schwanken, und zwar nach Versuchen, die ich selbst »unter seiner Leitung« angestellt haben soll. Was das letztere anbetrifft, so rührt, wie schon erwähnt, die Idee zu derartigen Volumensbestimmungen des Magens von mir her, und ich bin Ewald zu diesem Zwecke angegangen. Wenn er neuerdings in der Diskussion behauptet hat, dafs er schon vor mir derartige Bestimmungen ausgeführt habe, so stimmt damit nicht, dafs im Augusta-Hospital die Sache unbekannt war und auch gar nicht geeignete Apparate dazu vorhanden waren, welche ich mir erst selbst beschafft habe. Ich habe nun dort an etwa 3 bis 4 Patienten Bestimmungen gemacht, welche ganz unbrauchbare Resultate ergaben infolge der fehlerhaften Methodik. Das sind offenbar die Versuche, aus welchen Ewald seine weitgehenden Schlüsse zieht. Ich habe die Methode erst ausgearbeitet nach meinem Abgange vom Augusta-Hospital im physiologischen Laboratorium des Prof. Gad, und daselbst die Bedingungen gefunden, welche für die Brauchbarkeit der Methode wesentlich sind, nämlich 1. der Magen mufs rasch gefüllt werden, es mufs 2. jedesmal der Druck bei der maximalen Füllung bestimmt werden, damit man zwei unter gleichen Bedingungen angestellte Versuche bekommt, welche man miteinander vergleichen kann. 3. Die Luft mufs aus dem Magen intensiv abgesaugt werden, damit sie rasch entweicht und damit keine Residualluft bleibt. Wenn man diese Bedingungen erfüllt und sich auf die Methode eingearbeitet hat, so sind die Fehler minimal. Denn einmal kann man den Magen thatsächlich fast leer saugen, — ich berufe mich dabei auf die Bestimmungen Pfaundlers, welcher dies an Leichenmägen nachgeprüft hat a. a. O. S. 53 — ich habe selbst mich einmal davon überzeugt am lebenden Menschen, während einer von Mikulicz ausgeführten Laparatomie.[1] Anderseits habe ich an ca. 100 lebenden Patienten doppelte und dreifache Bestimmungen ausgeführt, welche übereinstimmende Werte ergeben haben und damit die Einwände, die ohne Übung und Erfahrung in der Methode reinweg vom grünen Tische gemacht worden

1) Sitzungsber. d. schles. Ges. f. vaterländ. Kultur, klin. Abend vom 24. Juni 1898.

sind, und die sich auch in den Lehrbüchern von Ewald, Riegel u. a finden, widerlegt. Wie unkritisch solche Einwände mitunter gemacht werden, dafür diene als Beispiel, dafs selbst ein so ernster Autor wie Pfaundler meiner Methode vorwirft[1]), dafs der negative Druck, unter welchem die Aspiration der Magenluft stattfindet, mit der Höhe der Wassersäule im Mefscylinder variiert und daher ganz inkonstant ist.« Es ist aber unschwer einzusehen, dafs gar nichts darauf ankommt, ob der Druck während des Absaugens konstant oder inkonstant ist, wenn er nur bis zur völligen Entleerung so stark negativ bleibt, um ein energisches Absaugen zu garantieren. Ich habe meine Methoden, die Kapacität des Magens in Wasser und in Luft zu bestimmen, schon anderweit beschrieben.[2])

Ich bringe hier die Resultate von Bestimmungen, die ich an 70 Menschen vorgenommen habe, und über welche ich noch Daten im Besitze habe. Zuerst folgen einige Bestimmungen, welche an denselben Personen zu verschiedenen Zeiten aufgenommen worden sind. Sie betreffen die Magenkapacität in Luft, hierbei sind stets 2 Bestimmungen direkt hintereinander vorgenommen worden.

1. Frl. Kriebel, 30 Jahre, Gastroptose mit Atonie.

Am	29. IV.	1893	18 cm	Druck	1284	1263	ccm
»	5. V.	»	» »	»	1295	1262	»
»	24. »	»	» »	»	1263	1241	»
»	9. IX.	»	» »	»	1264	1240	»

2. Börker, 37 Jahre, Gastroptose mit Atonie.

Am	5. V.	1893	20 cm	Druck	1905	1880	ccm
»	16. VI.	»	» »	»	1840	1840	»
»	5. IX.	»	» »	»	1820	1795	»

3. Lange, 40 Jahre, Atonia ventriculi.

Am	18. V.	1893	20 cm	Druck	1562	1530	ccm
»	20. »	»	» »	»	1562	1540	»
»	31. »	»	» »	»	1555	1562	»

1) a. a. O. S. 50.

2) Deutsche med. Wochenschr. 1892, No. 51 u. 52. Volkmanns Sammlung klin. Vorträge No. 144 S. 514.

Die weiteren Bestimmungen ergaben nun (normale Mägen bei vollkommen gesunden Menschen) folgende Werte:

1.	19 jähriger	Mann . .	20 cm	Druck	1080	1020	Kap. i. Wasser	1500
2.	30 »	Kaufmann	22 »	»	780	812	» » »	1400
3.	39 »	Schmied .	20 »	»	1052	1130	» » »	1600
4.	40 »	» .	21 »	»	587	628	» » »	1300
5.	18 »	Gymnasiast	22 »	»	696 697	773	» » »	1560
6.	17½ »	Kellner .	20 »	»	995	920	» » »	1350
7.	13 »	Schüler . .	20 »	»	1030	990	» » »	1700
8.	50 »	Landwirt .	20 »	»	1200	1300	» » »	1600
9.	25 »	Kaufmann	20 »	»	780	800	» » »	1200

Normale Mägen bei Hysterischen:

1.	20 jähr.	Fräulein . .	15 cm	Druck	580	600	Kap. i. Wasser	900
2.	27 »	» . .	18 »	»	680	670	» » »	1000
3.	30 »	Frau . .	18 »	»	1050	1150	» » »	1400
4.	52 »	» . .	20 »	»	1380	1340	» » »	1800

Normale Motilität bei chronischer Gastritis:

1.	51 jähr.	Schmied . .	15 cm	Druck	1280	1348	Kap. i. Wasser	1520
2.	31 »	Fräulein . .	15 »	»	1000	1070	» » »	1400
3.	52 »	Arbeiter . .	16 »	»	950	960	» » »	1500
4.	47 »	Landwirt . .	22 »	»	900	890	» » »	1400
5.	24 »	Mädchen . .	20 »	»	685	720	» » »	1100

Normale Motilität bei Chlorose:

1.	16½ jähr.	Mädchen	20 cm	Druck	1120	1100	Kap. i. Wasser	1500
2.	26 »	»	20 »	»	790	750	» » »	1100
3.	15½ »	»	18 »	»	860	890	» » »	1200
4.	24 »	»	20 »	»	1230	1160	» » »	1500
5.	21 »	»	20 »	»	1275	1175	» » »	1200
6.	20 »	»	18 »	»	1000	1035	» » »	1400
7.	16½ »	»	16 »	»	1080	1230	» » »	1300
8.	22 »	»	16 »	»	930	980	» » »	1200
9.	18 »	»	16 »	»	1240	1295	» » »	1500
10.	16½ »	»	20 »	»	1210	1260	» » »	1700
11.	19 »	»	20 »	»	1200	1250	» » »	1800
12.	19 »	»	20 »	»	1300	1290	» » »	1850
13.	17 »	»	18 »	»	1100	1020	» » »	1500

Atonie bei Gastroptose:

1.	37 jähr.	Schlosser .	. 20 cm	Druck	1905	1880	Kap. i. Wasser	1800
2.	28 »	Fräulein .	. 20 »	»	1560	1620	» » »	1200
3.	31 »	Schuster .	. 20 »	»	1560	1540	» » »	1500
4.	30 »	Fräulein .	. 18 »	»	1260	1240	» » »	1200
5.	30 »	Frau . .	. 14 »	»	1210	1300	» » »	1000
6.	34 »	Fräulein .	. 20 »	»	1240	1200	» » »	1050
7.	27 »	Beamter .	. 18 »	»	1260	1180	» » »	900
8.	29 »	Kaufmann	. 20 »	»	1050	1000	» » »	1100
9.	35 »	Fräulein .	. 20 »	»	1000	1080	» » »	1020
10.	55 »	Stellmacher	. 18 »	»	1140	1180	» » »	1200
11.	55 »	Hausmann	. 25 »	»	1500	1435	» » »	1500
12.	36 »	Frau . .	. 20 »	»	840	800	» » »	800
13.	19 »	Fräulein .	. 20 »	»	1085	1240	» » »	1000

Atonie mit Gastroptose bei Chlorose.

14.	26 jähr.	Fräulein .	. 20 cm	Druck	1800	1760	Kap. i. Wasser	1800
15.	22 »	» .	. 18 »	»	1160	1180	» » »	1100
16.	17 »	» .	. 18 »	»	1155	1120	» » »	1000
17.	17 1/2 »	» .	. 18 »	»	1890	1840	» » »	1000
18.	18 »	» .	. 18 »	»	1250	1200	» » »	1000
19.	22 »	» .	. 20 »	»	1160	1100	» » »	1250
20.	19 »	» .	. 20 »	»	1560	1610	» » »	1600
21.	16 »	» .	. 20 »	»	1620	1550	» » »	2000
22.	21 »	» .	. 20 »	»	1950	2050	» » »	1800
23.	17 »	» .	. 20 »	»	2280	2340	» » »	2000

Magenerweiterung durch Narbenstenose:

1.	13 jähriger	Knabe .	. 20 cm	Druck	2000	2055	Kap. i. Wasser	1900
2.	46 »	Baumeister	20 »	»	2310	2330	» » »	2750
3.	54 »	Schlosser	22 »	»	2450	2450	» » »	2350
4.	42 »	Maurer .	22 »	»	2600	2500	» » »	2500
5.	50 »	Kaufmann	22 »	»	3000	3100	» » »	2000

Vorübergehende Stagnation, nur drei Wochen anhaltend, durch Ulcus am Pylorus, Therapie Magenspülung; nach einer Blutung in den Darm war die Stenose verschwunden.

1.	42 jähriger	Gärtner	. 20 cm	Druck	1520	1500	Kap. i. Wasser	1300

Carcinoma mit Stagnation:

1.	47 jähriger	Mann .	. 20 cm	Druck	2140	2090	Kap. i. Wasser	2000
2.	35 »	Tischler	. 20 »	»	2520	2600	» » »	1800
3.	47 »	Gutsbes.	. 25 »	»	1820	1900	» » »	1900
4.	38 »	Landwirt	. 28 »	»	1370	1410	» » »	1100
5.	45 »	Tischler	. 30 »	»	2060	2095	» » »	2100
6.	48 »	Müller .	. 30 »	»	1580	1620	» » »	1800

Carcinoma ohne Stagnation:

1. 36 jähriger	Schiffer .	20 cm Druck	1245	1295	Kap. i. Wasser	1700
2. 53 »	Restaurat.	20 » »	1370	1440	» » »	1500
3. 48 »	Frau . .	20 » »	1100	1200	» » »	1500
4. 42 »	Frau . .	24 » »	1130	1200	» » »	1200
5. 47 »	Werkmeist.	20 » »	960	900	» » »	1000

Totale carcinomatöse Schrumpfung des Magens:

1. 33 jährige	Frau . .	30 cm Druck	540	560	Kap. i. Wasser	550
2. 54 »	Schlosser	28 » »	480	500	» » »	500

Ich will auf die Deutung der Bestimmungen nur insofern eingehen, als sie die praktische Diagnostik betrifft. Was die physiologische Seite anbetrifft, so verweise ich auf meine frühere Arbeit in Volkmanns Sammlung Nr. 144 S. 519 u. f. Nach den Kapacitätsbestimmungen lassen sich folgende diagnostische Sätze aufstellen.

1. Man kann die Elasticität der Muskeln des Pylorusteiles bestimmen. Bei guter Elasticität erhält man gröſsere Werte in Wasser als in Luft. Bei Erschlaffungen erhält man gleiche oder sogar geringere Werte in Wasser als in Luft.
2. Man kann bestimmen, ob reine Atonie vorliegt, oder ob dieselbe schon mit Vergröſserung des Organs einhergeht.
3. Kann man kontrollieren, ob sich der Zustand der Magenmuskeln mit der Zeit verschlechtert oder verbessert.
4. Kann man den Grad einer Ektasie bestimmen, was man aus dem Symptom der Speisestagnation allein nicht kann.
5. Wenn sich innerhalb weniger Monate eine erhebliche Stagnation entwickelt, ohne daſs dabei der Magen sich wesentlich vergröſsert (1500 bis 1800 ccm Volumen in Luft) so spricht dies für Pyloruscarcinome und gegen Ulcusstenose.
6. Kann man die totale carcinomatöse Schrumpfung des Magens mit Sicherheit diagnostizieren, und zwar ist hier die Kapacitätsbestimmung, in Wasser und Luft ausgeführt, das einzige Verfahren, welches die Differentialdiagnose entscheidet. (Kein Tumor, keine Salzsäure, aber Milch-

säure, Speisestagnation, Kapacität 500 ccm oder weniger, hoher Druck in Luft vertragen.)

Es wäre nun sehr erwünscht, wenn wir wüfsten, in welcher Beziehung die Vitalkapacität, wie wir sie bei unserem Verfahren bestimmen, steht zur Maximalkapacität des ausgeschnittenen Leichenmagens. Mir ist es leider nicht möglich gewesen, solche Bestimmungen sowohl am Lebenden und dann an der Leiche auszuführen. Pfaundler hat einige an Säuglingsmägen ausgeführt; natürlich lassen sich diese Resultate auf Erwachsene nicht übertragen, ebensowenig wie sich die Resultate, die ich an Hunden erhalten habe, auf den Menschen übertragen lassen. Hunde können, wie auch Raubtiere, zu deren Familie sie doch gehören, eine solche Menge fressen, dafs diese nur wenig unter der Maximalkapacität des ausgeschnittenen Leichenmagens bleibt.

Für den Menschen können wir nur sagen, dafs das Verhältnis der Vitalkapacität zu der Maximalkapacität bei Gesunden annähernd konstant ist, und dafs sich das Verhältnis bei Erkrankungen des Magens ändert. Ferner mufs es sich ändern und zwar gröfser werden bei Erschlaffung der Bauchdecken, weil sich der Widerstand der Bauchdecken gegen die Aufblähungen des Magens dadurch vermindert.

Es wäre wünschenswert, dafs einmal Bestimmungen darüber vorgenommen würden, in welchem Verhältnis die Kapacität des Magens zu dem Gesamtvolumen der Bauchhöhle steht. Es gibt da auch sehr grofse Differenzen zwischen dem normalen und kranken Zustand. Die Arbeit des Magens bei der Entleerung mufs in Beziehung stehen zur Nachgiebigkeit der Bauchdecken und zum Volumen der Bauchhöhle.[1]) Man vergleiche einmal von diesem Gesichtspunkte aus die Fälle von Gastroptose mit Atonie. Die einen, lange Menschen mit schmalem Thorax und eingesunkenen Bauchdecken, wie sie etwa die Schwindsüchtigen repräsentieren, sind schlechter daran als kurze mit vorgewölbtem Abdomen, wie

1) Nach Estirpation grofser Abdominaltumoren bei eingesunkenen straffen Bauchdecken habe ich oft starke Störungen der Magenmotilität gesehen. Der entstehende Hohlraum erschwert die Magenkontraktion.

etwa Patientinnen mit Hängebauch. Der Unterschied der Motilitätsbeschwerden dieser beiden Kategorien liefse sich schon aus diesen rein mechanischen Verhältnissen verstehen.

F. Vagus, Sympathicus.

Die Reizung der folgenden Nerven: Der Vagi am Hals, der Sympathici am Hals, des Rückenmarkes, der Splanchnici und des Ganglium Coeliacum wurde unternommen, um festzustellen, wieweit sich die klinischen Erscheinungen der Atonie des Magens auf nervöse Basis zurückführen lassen.

1. Halssympathicus. Diese Nerven wurden am Halse freipräpariert bei Kaninchen in Chloralnarkose und bei Hunden in Morphium — Äthernarkose oder reiner Äthernarkose. Der Magen wurde stufenweise mit Luft gefüllt und untersucht, ob die Durchschneidung dieser Nerven und die Reizung ihrer peripheren Enden irgend welchen Einflufs auf die Dehnungskurve des Magens, also sowohl auf die Elasticität als auf Kontraktion resp. Erschlaffung der Muskeln ausübt. Sämtliche Versuche zeigten, dafs diese Nerven nicht den geringsten Einflufs auf den Spannungszustand der Magenmuskeln haben.

2. Das Rückenmark. Die Versuchsbedingungen waren genau dieselben wie beim Sympathicus. Das Rückenmark wurde quer durchschnitten, einmal am unteren Rand des fünften Halswirbels (Tafel XV a und VII a), zwischen 6. und 7. Halswirbel (Tafel XII). Zwischen 7. Hals- und 1. Brustwirbel (Tafel X und XI), zwischen 2. und 3. Brustwirbel (Tafel VIII a). Auf den Spannungszustand des Magens hat die Durchschneidung des Hals- resp. des obersten Brustmarkes keinen Effekt (Tafel XI, Feld 1 und 2 und Tafel VIII, Feld 1 und 2 und Tafel VII a). Was nun die Reizung des Rückenmarkes anbetrifft, so wurde die eine Elektrode in den sacral gelegenen Querschnitt eingesteckt, während die andere in den Rückenmarkkanal des Kreuzbeines eingesteckt wurde. Die Reizung des Rückenmarkes war nun öfters ohne Erfolg (vgl. Tafel X, 3. Feld), während zu der gleichen Zeit die Vagusreizung ein positives Resultat ergab.

Einige Male zeigte sich eine plötzliche, wenn auch geringe Steigerung des Gesamtdruckes (XII, 2. Feld), häufiger aber eine deutliche, wenn auch nicht bedeutende Abnahme des Gesamtdruckes (XI, 3. Feld, X, 2. und 3. Feld). Dafs natürlich nur die positiven Befunde beweisend sind und nicht die negativen, das demonstriert sehr schön Tafel X. Am lebenden Tiere war die Rückenmarksreizung ohne Effekt (X, 2. Feld), während nach dem Tode des Tieres die Reizung eine prompte Erniedrigung des Druckes, sowohl im Pylorus als im Fundusteil zur Folge hatte. Zusammenfassend kann man auf Grund der Versuche folgendes sagen:

1. Im Brustteil des Rückenmarkes verlaufen Fasern, welche die Magenmuskeln etwas länger machen können. Dafs dies die Fasern des Splanchnikus sind, welcher nach Biedl[1]) aus den Ganglien des Rückenmarkes vom 6. Hals bis zum 5. Dorsalnerven entspringt, kann nicht zweifelhaft sein, da der Splanchnikus selbst den gleichen Effekt gibt. Aufserdem verlaufen 2. im Rückenmark einige kontrahierende Fasern. 3. Irgend ein Tonus, also eine dauernde Kontraktion des Magens, welcher vom Gehirn oder Halsmark durch das Rückenmark hindurch auf den Magen ausgeübt wird, wie es z. B. beim Blutgefäfssystem besteht, existiert beim Magen bestimmt nicht.

3. Die Nervi vagi. In Übereinstimmung mit allen Autoren, welche die Vaguswirkung auf den Magen untersucht haben, fand sich auch bei unseren Experimenten ein exquisiter Einflufs auf die Spannung der Magenmuskeln und zwar ist der Vaguseinflufs von allen nervösen Einflüssen der stärkste. Was nun a) die Durchschneidung dieses Nerven anbetrifft, so kann die doppelte Vagusdurchschneidung ohne jeden Einflufs auf die Gesamtspannung des Magens sein. (Vgl. VIIIa, 2. u. 3. Feld. Ib, 3. u. 5. Feld). Anderseits kann auch der Tonus etwas vermindert (Tafel V, Feld 6 u. 7) oder auch erhöht sein (Tafel II). Interessant ist, dafs die einseitige Durchschneidung des Vagus — in unseren Versuchen wurde der linke durchschnitten und der rechte blieb intakt — eine Steigerung des Tonus hervorbringen kann, welche

1) Wiener klin. Wochenschr. 1895, No. 52.

durch Durchschneidung des anderen Vagus beseitigt wird. (Tafel V, Feld 5 u. 6 und Ib 3 u. 4.) Doch ist dies nicht immer der Fall, wie Tafel VI zeigt. Die Erklärung kann ich mir nicht anders denken, als dafs die erregenden und hemmenden Impulse im rechten und linken Vagus sich ausgleichen und dieser Ausgleich infolge der Durchschneidung gestört wird. Ähnliches sehen wir auch bei der Halbseitenläsion des Rückenmarkes in der einseitigen Hyperästhesie, Erhöhung der Reflexe etc. Was nun die Reizung des Vagus anbetrifft, so erfolgt nach einer Latenz von mehreren Sekunden eine gewaltige Steigerung des Gesamtdruckes im Magen. (Vgl. Tafel X, Feld 4. XVb, 1, XIb, 1 und V 9, 10, 11.) Die Kontraktion kann ohne Einflufs auf die Elastizität sein, so dafs die Spannung hinterher genau dieselbe ist wie vorher (Tafel V 10, XVb 1, Xb 1, XIb). Häufig aber ist der Druck nach der Reizung geringer wie vorher. Das könnte zwei Ursachen haben. Einmal weil der Vagus nicht sämtliche Muskelfasern zur Kontraktion bringt und die nicht kontrahierten Fasern infolge der Drucksteigerung überdehnt werden. Dann müfste aber ein proportionales Verhalten bestehen zwischen der Drucksteigerung und der nachherigen Verminderung, was nicht der Fall ist. Demnach rührt diese Erschlaffung zweitens von der Reizung dilatatorischer Fasern her, welche im Vagus verlaufen. Und dieses stimmt genau mit Versuchen von Battelli überein.[1]) Wenn man den Vagus dauernd reizt, so tritt nach der ersten Kontraktion eine längere Latenz ein. Es kann dann noch eine zweite und nach deren Latenz eine dritte Kontraktion erfolgen, die Wirkung erschöpft sich aber sehr bald, und es bleibt eine Erschlaffung zurück. Reizung des Vagus hat immer nur einen vorübergehenden Effekt und kann nicht eine konstante Erhöhung des Magentonus bewirken.

4. Splanchnikus und Ganglium coeliacum. Die Versuche wurden an Kaninchen und Hunden in reiner Äthernarkose vorgenommen. Es gelang meist, die Splanchnici frei

1) Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences, t. CXXII, Nr. 26, 1896, S. 1568.

zu präparieren, ohne Pneumothorax zu machen. Ich bringe hier einige Versuchsprotokolle:

1. Kaninchen, Bauchdecken kreuzweise gespalten. Im Magen waren 100 ccm fester Inhalt, welcher nach Beendigung des Versuches gemessen wurde. Es wurden 50 ccm Luft in den Magen geblasen. Kardia und Pylorus wurden unterbunden. Druck betrug 7—8 cm. Reizung des Splanchnikus ergibt keinen Effekt. Dann 100 ccm Luft in den Magen, Druck 13—12 cm. Bei dauernder faradischer Reizung des linken Splanchnikus fällt der Druck auf 11, dann auf 10 cm. Nach Aussetzen der Reizung bleibt der Druck noch einige Sekunden auf 10 cm und steigt dann wieder etwas an. Alle Luft entleert und danach 2. Versuch. 50 ccm Luftvolumen, = Druck 7 cm. Reizung des linken Splanchnikus. Druck fällt auf 6 cm, steigt aber während der Reizung wieder auf 7 cm an. Reizung ausgesetzt nach 2 Minuten. Druck steigt auf $7^1/_2$ cm. 100 ccm Luft im Magen. Druck 12,5—12 cm. Reizung des linken Splanchnikus. Druck fällt und zwar nach 1 Minute auf 9 cm, nach 2 Minuten auf 9,5 cm und nach 3 Minuten auf 8,5 cm. Reizung ausgesetzt, alle Luft entleert. Magen nochmals mit Luft gefüllt. 50 ccm = 6 cm Druck, 100 ccm = 13—12 cm. Kaninchen getötet.

2. Grofser Fleischerhund. Kardia und Pylorus unterbunden. Kanüle in den Magenfundus eingebunden. Luft eingefüllt. 500 ccm, = Druck 4 cm. Reizung des linken Splanchnikus. Der Druck bleibt 4 cm, steigt dann vorübergehend auf 5 und 6 cm und fällt dann wieder auf 4 cm. Die Reizung ist offenbar ohne Effekt und die Drucksteigerung hängt, wie der Augenschein lehrt, von Bewegungen des Pylorusteiles her. 1000 ccm Luft, = Druck 8 cm. Reizung des linken Splanchnikus, Druck fällt auf 6 cm. Nach 1 Minute die Reizung ausgesetzt. Der Druck steigt alsbald auf 7—8 cm und fällt dann wieder auf 7, 5—6 cm. Erneute Reizung des linken Splanchnikus. Der Druck fällt alsbald auf 5 cm, steigt während der Reizung auf 6 und fällt dann wieder auf 5 cm. Nach 1 Minute die Reizung ausgesetzt. Druck steigt auf 6 cm. Der Magen wurde nun entleert und ein zweiter Versuch vorgenommen. 500 ccm Luft = 5—4 cm Druck. Reizung

des linken Splanchnikus ist ohne Effekt. 1000 ccm = Druck 7-6,5 cm. Durch Reizung des Splanchnikus fällt der Druck auf 5 cm, nach Aussetzen der Reizung bleibt der Druck so. Dann 1700 ccm Luft, Druck 10—9 cm. Während der Reizung fällt der Druck auf 8 cm und bleibt so nach Aussetzung der 2 Minuten dauernden Reizung. Danach 2000 ccm Luft = 9 cm Druck, 2300 ccm = 11 cm. Reizung ohne Effekt, Hund getötet.

3. Mittelgrofser Jagdhund. Pylorus und Kardia unterbunden. Magen leer. Kanüle in der Mitte des Fundus eingebunden. Luftfüllung des Magens. 500 ccm = 3,5—4 cm Druck. 1000 = 5—6, 1500 = 8—9. Danach alles wieder entleert. 500 ccm Druck 4—3. Reizung des rechten Splanchnikus ist ohne Erfolg, 1000 ccm, Druck 4,5—5 cm. Bei Reizung des rechten Splanchnikus fällt der Druck auf 4 cm. 1500 ccm Druck 7—8 cm. Bei Reizung des rechten Splanchnikus fällt der Druck ungefähr $^1/_2$ cm. Alle Luft entleert. 500 ccm Luft, Druck 5—4,5 cm. Bei Reizung des linken Splanchnikus sinkt der Druck auf 4 cm. 1000 ccm Luft = Druck 5—6 cm. Bei Reizung des linken Splanchnikus sinkt der Druck auf 4 cm. 1500 ccm Druck 8—7 cm. Reizung des linken Splanchnikus. Druck fällt auf $6^1/_2$ cm und steigt nach Aussetzen des Reizes auf 7 cm. Es wurde nun alle Luft entleert und das Ganglium coeliacum frei präpariert nach Emporschlagen des Magens. 500 ccm = 5 cm Druck. Reizung des Ganglions, Druck fällt auf 4 cm. Aussetzen des Reizes, Druck steigt sofort auf 5 cm, fällt aber dann wieder auf 4 cm. 1000 ccm = 8—7,5 cm Druck. Durch die Reizung fällt der Druck auf 7 cm, bei starkem Strome auf $6^1/_2$—6 cm. Nach Aussetzen des Reizes steigt der Druck wieder auf 7 cm, fällt dann aber wieder von selbst auf 6 cm. 1500 ccm Luft = 9 cm Druck. Bei Reizung des Ganglions fällt der Druck auf 8 cm. Alle Luft entleert. Der Hund wurde nun in Äthernarkose getötet durch Öffnung der Karotis. Nochmals Reizversuche.

1. Ganglion coeliacum 500 ccm = 4 cm, Druck fällt durch Reizung auf 3 cm. 1000 ccm = Druck 7—6 cm. Durch Reizung fällt der Druck auf 4—5 cm. Alle Luft entleert. 2. Rechter Splanchnikus. 500 ccm = 4,5—5 cm. Durch Reizung fällt der

Druck auf 3 cm. 1000 ccm = 8 cm. Durch Reizung fällt der Druck auf 6 cm. Alle Luft herausgelassen. 3. Linker Splanchnikus. 500 ccm = 3 cm. Durch Reizung fällt der Druck auf 2 cm. Der Versuch wurde abgebrochen, weil der Magen anfing kalt zu werden.

4. Versuch. Grofser Jagdhund. Dieselben Versuchsbedingungen. Beim Freipräparieren des rechten Splanchnikus entsteht rechtsseitiger Pneumothorax. Kanüle in den Pylorusteil eingebunden. Magen hatte 120 ccm festen Inhalt. 500 ccm = 6 cm. 1000 ccm = 8 cm. Alle Luft heraus. 500 ccm = 8 — 7 cm. Reizung des linken Splanchnikus ohne Effekt, des rechten Splanchnikus ohne Effekt, beider zusammen ohne Effekt. Nochmals alle Luft herausgelassen. 500 ccm = 8 cm Druck. Reizung des rechten Splanchnikus. Druck fällt sofort auf 7 cm und steigt hinterher auf $7^1/_2$ cm. Reizung des linken Splanchnikus. Druck fällt sofort auf 7 cm und steigt auf $7^1/_2$ cm wieder an. Reizung beider Splanchnien gleichzeitig. Druck fällt auf 7—6,5 cm. Reizung ausgesetzt, alle Luft entleert. 500 ccm = 7,5 cm. Reizung des Ganglion coeliacum. Druck fällt auf 7 — 6,8 cm. Der Magen wird nochmals entleert und auf 500 ccm gefüllt. Druck 6 cm. Durch Reizung des Ganglion fällt der Druck auf 5,5 cm. Tier getötet.

Das Ergebnis der Reizversuche an den Nervi Splanchnici und an dem Ganglion coeliacum ist folgendes: Der Effekt der Reizung tritt ziemlich plötzlich ein, ohne bemerkbare Latenz. Bei dauernder Reizung kann die Wirkung verstärkt werden. Die Wirkung hält nach Aufhören der Reizung noch eine Zeit lang an. Der Effekt der Splanchnikusreizung auf das Magenvolumen ist aufserordentlich gering und die Vergröfserung des Volumens, welche dadurch erzielt wird, beträgt beim Hunde weniger als $^1/_{250}$ des Gesamtvolumens. Die Wirkung ist beim rechten und linken Nerven fast gleich, und auch, wenn man das Ganglion direkt reizt, ist sie nicht gröfser. Ich hatte mir gedacht, dafs von dem Ganglion aus noch besondere hemmende Fasern für den Magen ausgehen könnten. Es ergibt nämlich die klinische

Beobachtung bei Neurasthenikern, welche an Atonie des Magens leiden, daſs der Plexus solaris auffällig druckempfindlich ist und es war naheliegend zu glauben, daſs ein Reizzustand dieser Ganglien einen Erschlaffungszustand des Magens bedingen könnte. Die Tierversuche aber haben diese Annahme nicht bestätigt. Das Ganglion selbst kann den Magen auch nicht atonischer machen, als es das Rückenmark durch die Nervi Splanchnici vermag. Wenn man den Effekt der Splanchnikusreizung am Manometer beobachtet, dabei aber auch den Magen selbst betrachtet, so ergibt sich ein merkwürdiger Widerspruch. In Übereinstimmung mit sämtlichen Forschern konnten auch wir bei unseren Versuchen konstatieren, daſs der Splanchnikus die spontanen Bewegungen des Pylorusteiles hemmt, indem dieser nämlich die Intensität dieser Bewegungen abschwächt, diese Bewegungen verlangsamt und den Pylorusteil selbst erweitert. Wenn man nun den Druck im Pylorus- und im Fundusteil getrennt bestimmt und den Effekt der Reizung beobachtet, so ist derselbe beträchtlicher, als wenn man den Gesamtdruck des Magens zu Grunde legt. (Tafel X b.) Wir können daraus schlieſsen, daſs im Splanchnikus zwei Arten Fasern laufen, erweiternde und zusammenziehende, welche sich ziemlich die Wage halten. Damit stimmt auch, daſs sich bei unseren Versuchen bei der Reizung mitunter eine minimale Drucksteigerung einstellte. In dieser Beziehung stimmen unsere Resultate mit denen von Battelli überein, der zwei Arten Fasern für den Magen im Splanchnikus nachgewiesen hat.

Von den Resultaten unserer Nervenversuche, betreffend den Gesamttonus des Magens, will ich noch folgendes allgemeine hervorheben. Wie bei der quergestreiften Muskulatur die Elastizität nur von der Länge des Muskels und nicht von der Kontraktion oder der nervösen Verlängerung derselben abhängt, so ist es auch bei der glatten Muskulatur des Magens. Unsere Dehnungskurven zeigen, daſs wenn wir das Magenvolumen durch Füllung vergröſsern und die Muskeln über ihre aktive Verlängerung hinaus weiter dehnen, dann der Widerstand der gleiche

ist bei den reflektorisch verlängerten und den rein passiv gedehnten Muskeln. Ferner ist für die Klinik der Magenkrankheiten folgendes von Bedeutung:

Der Magen besitzt keinen vom Zentral-Nervensystem abhängigen dauernden Tonus, wie ihn etwa das Blutgefäfssystem aufweist, deswegen ist es auch möglich, dafs die Dehnungskurve des frisch herausgeschnittenen Magens unter Umständen dieselbe sein kann wie beim lebenden Tier. (Vergl. Tafel IX.) Wenn man von der kontrahierenden Wirkung des Vagus absieht, welche nur vorübergehend ist, und offenbar nur unter besonderen Umständen, wie beim Erbrechen in Frage kommt, so sind die Nerven gar nicht im stande, irgend welche erhebliche Anderungen im Magenvolumen hervorzubringen. Dieselben müssen vielmehr ausschliefslich mechanisch erklärt werden. Bei Chlorose und Neurasthenie, wo wir Verzögerung der Magenentleerung und Schwappen im Pylorusteil des Magens finden, kann man diese Erscheinung mit Recht auf die Hemmung des Pylorusteiles durch den Splanchnikus beziehen. Aber irgend eine besondere Erschlaffung des Fundusteiles des Magens können die Magennerven nicht hervorbringen, und wie ich auch durch eine Anzahl Bestimmungen der Magengröfse bei Chlorotischen gezeigt habe, ist dies nicht der Fall[1]), und es betrifft die Erschlaffung des Magens bei diesen Kranken nur den Pylorusteil. Stärkere Dilatationen des Magens müssen mechanisch erklärt werden. Zum Beispiel wird die akute Dilatation des Magens, wie man sie nach Rückenmarksverletzungen beobachtet, auf Lähmung der Magenmuskeln zurückgeführt. Die Rückenmarksverletzung kann höchstens die Magenentleerung verzögern, die Erweiterung aber ist die Folge der Überfüllung des Magens, wobei die Gasentwickelung durch Gärung eine nicht geringe Rolle spielt.[2]) Damit stimmt auch, dafs man sämtliche zum Magen führende Nerven durchtrennen kann, und der Magen sich trotzdem genügend entleert, wie dies von Mering angegeben hat.[3]) Stärkere Dilatationen

1) Volkmanns Sammlung No. 144 S. 523.

2) Vgl. Kelling: Über den Mechanismus der akuten Magendilation. Archiv f. klin. Chirurgie, Bd. 64.

3) 17. Kongrefs für innere Medizin.

des Magens können demnach, da sie rein mechanische Ursachen haben und vom Nervensystem nicht abhängen, stets mit Erfolg behandelt werden.

Noch auf einen Punkt möchte ich hinweisen in Bezug auf die neuere Magenchirurgie. Es sind schon Resektionen der Kardia wegen Carcinom ausgeführt worden, wobei die Vagi durchschnitten und der Ösophagus mit dem Fundusteil vernäht wurde. Die Tierversuche haben nun erwiesen, dafs so operierte Individuen an Dilatation zu Grunde gehen können. Es liegt dies aber hauptsächlich daran, dafs das Gefühl der Sättigung fehlt und der Magen deshalb mechanisch überlastet wird. Durch vorsichtigste Ernährung lassen sich aber diese Zustände vermeiden.[1]

G. Druckregulierende Nerven.

Auf das Vorhandensein von Nerven, welche die Oberflächenspannung im Magen und Darm regulieren, bin ich geführt worden durch die einfache Überlegung, dafs solche allein aus Zweckmäfsigkeitsgründen vorhanden sein müssen. Der Magen z. B. mufs plötzlich ziemlich grofse Mengen fassen, und wenn seine Muskeln bei der Füllung nicht reflektorisch sich verlängern könnten, so müfsten sie infolge ihrer Elasticität Widerstand leisten und würden das Schlucken erschweren. Anderseits sind, wenn der Magen ziemlich leer ist, die elastischen Kräfte desselben so gering, dafs sie den Druck nicht viel über den atmosphärischen halten könnten. Da nun die Resorption, wie Hamburger gezeigt hat, eine Funktion ist des positiven intra-intestinalen Druckes, so würden diese mangelhaft sein, wenn nicht hier durch besondere Kontraktion für entsprechende Höhe des Gesamtdruckes gesorgt würde. Die Druckbeeinflussung, welche im Intestinum durch die Schwere benachbarter Organe hervorgerufen wird, und von welcher Moritz irrtümlicherweise annahm, dafs sie die hauptsächlichste Ursache des positiven Magendrucks ist, kann für die Resorption wenig helfen, da sie bei verschiedener Lagerung verschieden hoch ist und sogar negativ werden

1) Ratschkowsky, Pflügers Archiv f. Physiol. Bd. 84.

kann. Die Richtigkeit der angegebenen Theorie läfst sich nun in mehrfacher Weise beweisen.

I. Läfst sich zeigen, dafs im Magen und Darm ein positiver Druck besteht, der unabhängig ist von den benachbarten Organen und durch die eigene Wandspannung zu stande kommt. Dazu einige Versuchsprotokolle:

1. Hund wurde in Äthernarkose versetzt und die Bauchdecken ausgiebig gespalten, der Magen war leer. Es wurden 200 g Wasser und 50 ccm Luft eingespritzt. Es wurde eine lange Glasröhre in den Magen und eine seitlich ins Duodenum eingebunden. An diesen langen Glasröhren, welche genau horizontal lagen, wurde je ein Wassermanometer angeschlossen. Diese langen horizontalen Röhren hatten den Zweck, den Druck am Manometer direkt ablesen zu können. Es ist bei dieser Versuchsanordnung gleichgültig, ob Luft oder Wasser aus dem Darm in die Glasröhre gelangt, weil wegen der horizontalen Lage die Schwere des Wassers aufgehoben ist, und weil wegen der gröfseren Länge der Röhre schon eine grofse Menge Wasser hereingeprefst und der Druck hoch werden kann, ohne dafs das Wasser aus der horizontalen Röhre herauskommt. Der Druck war folgender:

nach Minuten	im Magen	im Duodenum
5	3 cm	10 cm
10	5 »	10 bis 12 »
20	2 bis 3 »	8 »
25	2 »	7 »
35	4 »	9 »
40	3 »	6 » 8 »
50	2 »	6 » 7 »
60	5 »	10 » 12 »

2. Versuch: Hund in Äthernarkose. Eingeweide freigelegt. 1 Kanüle im Pylorusteil des Magens, die andere ins Duodenum seitlich eingebunden. Mageninhalt 250 ccm. Druck

nach Minuten	im Magen	im Duodenum
1	2 cm	1 cm
5	2 »	3 »
7	3 »	4 »
10	3 »	5 »
15	3 »	3 »
20	3 »	3 »
25	2 »	2 »

Druck nach Minuten	im Magen	im Duodenum
30	2 »	3 bis 4 »
35	4 »	4 »
40	6 »	5 »
45	6 »	4 »
46	7 »	4 »
47	7 »	5 »
50	7 »	5 »
55	8 »	6 »
60	7 »	6 »
70	2 »	4 »
80	2 »	4 »
90	3 »	4 »
100	3 »	4 »
110	4 »	4 »
120	4 »	3 »
130	3 »	4 »
140	4 »	4 »
150	3 »	3 »
160	5 »	4 »
170	4 »	3 »
180	5 »	3 »

3. Versuch: Hund in Äthernarkose. Eingeweide freigelegt. 1 Kanüle im Magen im Fundus, 1 Kanüle im Jejunum 40 cm unterhalb des Pylorus. Magen enthielt etwas festen Inhalt und Luft. Druck

nach Minuten	im Magen	im Dünndarm
1	4 cm	3 cm
2	4 »	4 »
5	5 »	4 »
10	5 »	3 »
15	$4^1/_2$ »	2 »
20	$4^1/_2$ bis 5 »	2 »

Es wurden nun 400 g Wasser in den Magen eingegossen und der Darm unterhalb der Kanüle zugebunden. Druck

nach Minuten	im Magen	im Dünndarm
1	6 cm	3 cm
15	7 »	3 »
20	4 »	4 »
27	5 »	3 »
35	4 »	3 »
40	5 »	5 »
45	5 »	3 »
50	3 »	4 »
60	4 »	5 »
70	5 »	9 »
80	5 »	5 »
85	5 »	8 »

Es wurde nun II. durch Versuche gezeigt, dafs der Druck im Magen innerhalb gewisser Grenzen unabhängig von der Füllung ist. Zum Narkotisieren der Tiere darf man aber nicht Morphium, Chloral, Chloroform verwenden und auch nicht Äther in grofsen Dosen, der Versuch mifslingt sonst, weil diese Mittel die druckregulierenden Ganglien lähmen. Im ersten Stadium der Äthernarkose gelang mir aber der Nachweis mitunter sehr gut, und ich bringe hier einige Versuchsprotokolle:

A. Kleiner Pudel. Der Magen enthielt 200 ccm Fleisch. Es wurden noch 50 ccm Luft dazu eingeblasen. Es betrug demnach bei einer Gesamtfüllung von

	250 cm der Druck	5 cm
	285 » » »	6 »
	365 » » »	6 »
	400 » » »	$6^1/_2$ »
	435 » » »	8 später 6 cm
2. Mal	240 cm	8 cm
	330 »	$8^1/_2$ »
	380 »	$8^1/_2$ »
	400 »	$8^1/_2$ »
3. Mal	250 »	6 »
	350 »	7 »
	420 »	$7^1/_2$ » später 7 cm.

B. 9 Pfd. schwerer Hund. Äthernarkose. Kanüle im Fundus. Im Magen 160 ccm Inhalt.

Bei 240 ccm	Druck 7,6 cm
» 260 »	» 7,0 »
» 300 »	» 7,4 »
» 460 »	» 7,0 »

Weitere Kurven sind abgebildet in meiner Arbeit Volkmanns Sammlung 144, S. 497.

III. Es ist nun leicht, sich beim Menschen zu überzeugen, dafs auch hier der Druck unabhängig von der Füllung ist. Einmal findet man bei den verschiedensten Leuten, wenn man den Druck im Magen im Stadium der Verdauung bestimmt, gleiche Werte. Dafür einige Beispiele:

1. 48jähriger Mann, Ektasie des Magens bei Pylorusstenose. Druck 4—6 cm.
2. 34jähriges Fräulein. Atonie und Gastroptose. Druck 6—8 cm.

3. 18jähriger Kellner. Atonie. Im nüchternen Magen 2 cm. Im verdauenden Magen 5 cm.
4. 25jähr. Buchhändler. Hysterie. Verdauernder Magen 5 cm.
5. 25jähriges Fräulein. Magen gesund. 5—8 cm.
6. 18 » » » » 6 cm.
7. 17 » » » » 7—8 cm.
8. 26 » » Atonie. 4—6 cm.
9. 15 1/2 » » Gastroptose. 8—12 cm.
10. 52jährige Frau. Hysterie, Magen gesund. 7 cm.
11. 39jähriger Lokomotivführer. Atonie. 7 cm.
12. 42 » Gärtner. 4 cm.
13. 71 » Privatus. Chronischer Katarrh. 7 cm.
14. 45 » Tischler. Magencarcinom. 4 cm.

Diese Drucke sind alle 1—1 1/2 Stunden nach dem Mittagessen bestimmt und zwar in zwanglosem Sitzen mit angelegtem Rücken. Macht man die Versuche bei nüchternem Magen, so findet man den Druck geringer und um den atmosphärischen Druck herum schwankend.

Dafs der Druck unabhängig ist von der Füllung, kann man IV. ferner sehr gut bestimmen bei Menschen mit Magenfisteln. Ich habe solche Bestimmungen zahlreich ausgeführt. Ein Beispiel findet sich in Volkmanns Sammlung, Bd. 144, S. 496, und weitere im Archiv für klin. Chirurgie, 62. Band, S. 13—14. Ich bringe hier zwei andere Beispiele, welche die Sache sehr deutlich demonstrieren. Sie stammen von einem 40jährigen Mann, dem wegen Verätzungsstriktur der Speiseröhre eine Magenfistel angelegt worden war. Es wurden in den sonst nüchternen Magen 150 ccm kühle Milch und 250 ccm Luft eingespritzt. Die Bestimmungen des Magendruckes wurden im Sitzen gemacht.

Druck betrug nach		
1	Minute	9 cm
2	»	8 »
4	»	7 »
7	»	8 »
10	»	8 »
12	»	8 »
15	»	6 »
18	»	8 »
20	»	8 »

Aus dem Magen wurden noch 180 ccm Luft herausbekommen und einige Milchgerinnsel. Es hatten sich über 100 ccm entleert, ohne dafs der Druck gesunken war.

2. Versuch: 200 ccm kaltes Trinkwasser und 300 ccm Luft.

Druck	nach	1	Minute	10 cm
»	»	2	»	9 »
»	»	3	»	8 »
»	»	4	»	8 »
»	»	5	»	12 »
»	»	8	»	8 »
»	»	10	»	8 »
»	»	20	»	8 »

Es wurden noch 200 ccm Luft herausgezogen, das Wasser hatte sich völlig in den Darm entleert.

In sehr demonstrativer Weise läfst sich die Sache auch folgendermafsen nachweisen: Man legt einem Hunde eine Magenfistel an. Nach einigen Tagen wird der Hund nüchtern in Rückenlage festgebunden. Man füllt den Magen mit einer bestimmten Menge Luft und bestimmt nun den Druck. Man füttert nun den Hund mit Fleisch und kann sich dann überzeugen, dafs der Hund gröfsere Mengen Fleisch fressen kann, ohne dafs der Magendruck steigt. Am Ende der Fütterung kann man die Luft absaugen und nochmals das ursprüngliche Quantum Luft einspritzen, so dafs man nun sicher ist, dafs das Magenvolum wirklich um die Menge des genossenen Fleisches vergröfsert ist, und trotzdem ist der Druck nicht gestiegen. Ein solches Beispiel findet sich in meiner Arbeit über Gastrostomie in der Deutsch. Med. Wochenschrift 1899, Nr. 48.

Endlich kann man V. durch Tierversuche nachweisen, dafs es ein reflektorisches Nachlassen der Magenspannung mit der Füllung geben mufs, und diese Versuche zeigen am grofsartigsten die Bedeutung dieser Einrichtung. Ich liefs die Tiere erst fressen, so viel sie wollten. Sie wurden dann durch Schlag auf den Kopf getötet, die Menge des gefressenen Inhaltes bestimmt und dann die Maximalkapacität des ausgeschnittenen Magens bestimmt und diese beiden Werte miteinander verglichen. Ich bringe hier einige Beispiele:

1. 7 Pfund schwere Katze; dieselbe hatte 165 g Fleisch gefressen. Die Kapacität des Magens aber betrug bei 72 cm (!) Druck erst 156 ccm.

2. $4^1/_2$ Pfund schwere Katze; dieselbe frafs pro Mahlzeit 150 g Fleisch und trank 100—200 g Milch. Der Magen fafste nun erst bei 80 cm (!) Druck 300 ccm.

3. $^3/_4$ Jahre alte kleine Katze; diese frafs pro Mahlzeit 100 g Fleisch und 150—200 g Milch. Hier fafste der ausgeschnittene Magen erst bei 68 cm Druck 235 ccm.

Diese Versuche, wo die Futtermengen fast an die Maximalkapacitäten des Magens heranreichen, sind auf andere Weise nicht zu erklären, als dafs die elastische Spannung der Muskeln durch reflektorische Verlängerung für die Magenfüllung fast ausgeschaltet wird.

So grofsartig wie an diesen Beispielen zeigte sich das Verhalten nicht an allen unserer Versuche, und in der Regel betrugen die Futtermengen 50—75 % der Maximalkapacität des Magens. Dafs diese Druckregulierung im Magen nur vom Nervensystem abhängt, läfst sich auf zweierlei Weise zeigen. Erstens durch die Narkotika, was ich oben erwähnt habe, und zweitens durch die Erscheinungen beim Absterben. Die Nerven sterben nämlich eher ab als die Muskeln, und die Ausgleichung ist schon längst verschwunden, während die Muskeln noch lokal reizbar sind. Es fragt sich nun, ob diese druckregulierenden Nerven auch eine klinische Bedeutung haben? Diese Frage glaube ich bejahen zu können. Wir finden nämlich Neurastheniker, deren hauptsächlichste Beschwerden durch die Füllung des Magens bei der Nahrungsaufnahme hervorgerufen werden, und welche in Völle und Druck bestehen. Der Druck wird links, dem Fundus des Magens entsprechend, empfunden. Er wird durch Aufstofsen nur ganz vorübergehend gemildert und tritt schon nach geringen Mengen aufgenommener Nahrung ein, welche im Widerspruch zu dem Füllungsvermögen des anatomisch sonst ganz normalen Magens stehen. Infolgedessen kann das Mifsverhältnis zwischen der Nahrungsmenge und dem Füllungsvermögen nur funktionell erklärt werden und weist direkt auf Störungen in den druck-

regulierenden Ganglien hin. Dafür spricht auch die weitere Erfahrung, dafs die Beschwerden gemildert werden können nicht nur dadurch, dafs man wenig essen läfst, sondern schon dadurch allein, dafs man die Patienten sehr langsam essen läfst. Innerlich gibt man mit gutem Erfolg Strychnin, als ein Mittel, welches die Reflexerregbarkeit erhöht. In den Lehrbüchern der Magenkrankheiten findet man über diese Form der Magenneurose kein Wort, und doch ist sie keineswegs selten. Was nun das langsame Essen anbetrifft, so ist es schon eine alte Erfahrung, dafs dadurch das Fassungsvermögen des Magens beträchtlich erhöht werden kann. Ein plattdeutsches Sprichwort lautet:

Hör' min Söhn und lat di san
Wenn de wirst zu Tisch gelan
Langsam, langsam mufs de fräten,
Denn i kann di nimmer san
Was mer dann kann rinner schlan.

Im Volke ist es eine ganz bekannte Redewendung, »das Essen mufs sich erst setzen«, ehe man weiter essen soll. Es ist nun interessant, dafs wir für diese Erfahrungen einen Aufschlufs durch unsere Versuche bekommen haben. Es zeigt sich nämlich, dafs die Druckregulation für ihre Wirkung Zeit braucht. Die Zeit berechnet sich sogar nach mehreren Minuten, besonders bei höheren Füllungen. Füllen wir den Magen schnell, so sehen wir von der Regulation sehr wenig. Die Regulation erfolgt natürlich nicht allein durch Nachlafs der Spannung, sondern auch durch Aufstofsen von Luft und Herausschaffen des flüssigen Inhaltes in den Darm. Aber das Fassungsvermögen des Magens für feste Substanzen, welche bekanntlich stundenlang im Magen bleiben, und darum handelt es sich doch bei reichlichem Essen hauptsächlich, kann nur durch reflektorisches Nachlassen der Wandspannung vergröfsert werden.

Stellt man dieselben Versuche am Darm, Duodenum oder Jejunum an, so verhält sich die Sache etwas anders wie im Magen, nämlich:

1. Der Druck steigt bei forcierter Füllung ziemlich hoch an, indem sich der Darm nicht gleichmäfsig füllen läfst, sondern an

einer Stelle die Ringmuskulatur sich kontrahiert und so der Ausbreitung einen Widerstand entgegensetzt. Der Widerstand kann einige Minuten anhalten, z. B.: Einem Menschen wurde durch eine Jejunumfistel, welche 30 cm von der Fossa duodenojejunalis entfernt lag, 100 g dünne Mehlsuppe eingespritzt. Der Druck betrug nun direkt hinterher 12 cm, nach 2 Minuten 10 cm, nach 3 Minuten 5 cm; beim 2. Versuch nach 1 Minute 10 cm, nach 2 Minuten 8 cm, nach 3 Minuten 4 cm. Oder: Einem Hunde wurden 10 ccm Wasser ins Duodenum gespritzt. Der Druck betrug nach 1 Minute 12 cm, nach 5 Minuten 10 cm, nach 8 Minuten 6 cm. Einem anderen Hunde wurden in eine Jejunumfistel 300 ccm Wasser schnell eingefüllt. Der Druck betrug nach 1 Minute 19 cm, nach 3 Minuten 18 cm, nach 4 Minuten 16 cm, nach 5 Minuten 12 cm, nach 6 Minuten 11 cm, nach 7 Minuten 10 cm, nach 8 Minuten 8 cm. Der Widerstand ist wirklich ein aktiver, durch ringförmige Verschlüsse eines Darmstückes verursacht, wie meine Vivisektionen mehrfach bewiesen.

2. Wenn man die Füllung forciert, indem man bei einem höheren Druck, etwa 20 cm, dauernd einfüllt, so entsteht Durchfall.

3. Innerhalb gewisser Grenzen ist auch beim Darm der Druck unabhängig von der Füllung. Z. B.: a) Ein Hund wurde in Äthernarkose versetzt; eine 48 cm lange Darmschlinge wurde oben und unten abgebunden. Der Druck in dieser Schlinge betrug 4—6 cm. Die Schlinge war sonst leer, nur mit etwas Luft gefüllt. Jetzt wurden 20 ccm Wasser eingespritzt. Der Druck stieg auf $15^1/_2$ cm und war nach 5 Minuten wieder 6 cm. Jetzt wurde die Schlinge abgeschnitten. Der wässerige Inhalt betrug noch 12 ccm. b) Ein 2 Pfund schweres Kaninchen mit 5 ccm Äther durch subkutane Injektion narkotisiert. Eine 78 cm lange Darmschlinge abgebunden. Der Druck betrug in dieser Schlinge 4 cm. In diese Schlinge konnten 30 cm Wasser und 10 ccm Luft injiciert werden, ohne dafs der Druck über 4 cm stieg. c) Kaninchen mit Äther narkotisiert. 37 cm lange Darmschlinge doppelt unterbunden. Druck betrug 4 cm. In diese Darmschlinge konnten 10 ccm Öl injiciert werden, ohne dafs der Druck dauernd erhöht wurde.

4. Der Darm hält seinen Druck während der Resorption stundenlang. Beweise: a) Einem Hunde wurden in eine Jejunumfistel 200 g warmes Wasser eingespritzt. Der Druck betrug nach 8 Minuten 8 cm und hatte nach $^3/_4$ Stunden dieselbe Höhe. b) Einem anderen Hunde wurden 250 g Milch in eine Jejunumfistel eingegossen. Der Druck betrug nach einer Stunde 8 cm, nach zwei Stunden aber auch noch 8 cm.

Über den Druck, welcher im verdauenden Jejunum des Menschen herrscht, konnte ich an verschiedenen Individuen Versuche anstellen. Es waren Fälle von ausgebreiteten Magencarcinomen, denen ich zu Ernährungszwecken Jejunumfisteln angelegt hatte. Der durchschnittliche Druck betrug:

1. 50jähr. Mann. 30 cm v. d. Plica duodeno jejunalis 3—6 cm.
2. 40 » » 30 » » » » » » 3—5 »
3. 60 » Frau. 30 » » » » » » 4—6 »
4. 44 » » 15 » » » » » » 3—5 »

Beim Einguſs leistete der Darm einen Widerstand bis zu 20 cm.

Der Druck ist nun auch in gewisser Beziehung unabhängig von der Peristaltik. Am Magen habe ich die ausgiebigsten Bewegungen des Pylorusteiles gesehen, Kontraktionen und Erweiterungen, ohne daſs mein Manometer, welches den Gesamtdruck des Magens angab, Schwankungen zeigte. Ebenso kann sich der Darm bewegen, ohne daſs deswegen am Manometer Ausschläge zu entstehen brauchen. Wenn man aber für die Vorwärtsbewegungen des Darmes Hindernisse schafft, z. B. Unterbindungen, so steigt der Druck. Daſs Bewegungen des Magens und Darmes erfolgen können, ohne Änderungen des Druckes, ist nicht anders erklärlich, als daſs eine besondere regulatorische Einrichtung vorhanden ist, vermöge deren die Darmwand sich einerseits so viel ausdehnt, als sie sich anderseits zusammenzieht. Besonders gilt dies für Magen und Dünndarm. Wenn wir das Abdomen eines gesunden Menschen palpieren und es besteht kein Meteorismus, so fühlen wir überall denselben weichen geringen Widerstand, besonders deutlich ist dies bei Personen mit Hernien, wo über den Darmschlingen nur die dünne Haut

liegt. Anders verhält es sich wahrscheinlich beim Dickdarm, wo Meteorismus häufig ist, und wo er meiner Ansicht nach eine Grundbedingung für die Fortbewegung des Inhaltes ist. Der zähe Kot mit seiner Klebekraft würde aus den Haustris des Kolons wahrscheinlich allein gar nicht herausgebracht werden können, wenn er nicht durch andere Kotmassen und namentlich durch Luft mit fortgerissen würde. Wenigstens habe ich mich bei meinen Versuchen am Kaninchen sehr oft davon überzeugt, wie die Gasblasen die Kotmassen im Kolon mit fortnehmen.

Dafs im Magen und Darm Einrichtungen bestehen, welche es möglich machen, dafs peristaltische Bewegungen ohne Änderung des Druckes vor sich gehen können, das läfst sich meines Erachtens auf ein allgemeines physiologisches Gesetz zurückführen, welches Sherrington für die willkürliche Körpermuskulatur nachgewiesen hat, und welches darin besteht, dafs bei Kontraktionen des Synergisten der Antagonist um einen entsprechenden Betrag reflektorisch erschlafft wird. Demnach ist der Körper eine Maschine, welche für die aktiven Bewegungen ihre eigenen Widerstände reflektorisch beseitigt. Bedenkt man nun, dafs Magen und Darm eine sehr merkwürdige Innervation haben, und dafs derselbe Nerv, welcher die Ringmuskeln kontrahiert, die Längsfasern erschlafft (Vagus) und umgekehrt (Sympathikus), so läfst sich dies vielleicht daraus verstehen, dafs für die Bewegung des Magen-Darmkanales die Längs- und Ringmuskeln zu einander im Verhältnis stehen wie Synergisten zum Antagonisten.

Exner[1]) hat in einer Abhandlung über Lumen erweiternde Muskeln hervorgehoben, dafs in einem frei beweglichen Rohre, das als integrierenden Bestandteil seiner Wandung Längsmuskeln und Ringmuskeln enthält, die Kontraktion der ersteren Verkürzung des Rohres und Erweiterung seines Lumens, die Kontraktion der letzteren, Verlängerung des Rohres und Verengerung seines Lumens hervorrufen müssen. Exner ist infolge dieses Satzes dafür eingetreten, dafs man für die Erklärung des Effektes der Reizung der Eingeweidenerven der Annahme einer besonderen Erweiterung der anderen Muskelschicht nicht bedarf. Wir können aber auf Grund

1) Archiv f. Physiol. 1894, Bd. 34.

unserer Versuche diese Exnersche Ansicht widerlegen. Für diejenigen Kontraktionen der Längs- und Ringmuskeln, welche ohne Änderung des Gesamtdruckes einhergehen, mufs unbedingt eine entsprechende aktive Streckung der anderen Muskelschicht zugegeben werden.

Die Frage, wozu die druckregulierenden Nerven vorhanden sind, läfst sich in befriedigender Weise beantworten. Hamburger hat in einer Arbeit »Über den Einflufs des intraabdominellen Druckes auf die Resorption im Dünndarm« nachgewiesen, dafs die Resorption Null ist, wenn der Druck im Darme Null oder negativ ist. Sowie der Druck aber positiv wird, und wenn er nur $1/2$ cm Wasserdruck beträgt, so resorbiert der Darm. Die Resorption steigt mit dem Druck an, bis zu einer gewissen Höhe von etwa 15—20 cm. Darüber hinaus ist eine bedeutende Abnahme der Resorption zu bemerken und zwar einfach deswegen, weil die abführenden Venen komprimiert werden. Es kann keinem Zweifel unterliegen, dafs der Darminhalt mechanisch in die Gewebsspalten der Darmschleimhaut eingeprefst und von dort in die Kapillaren des Blutes aufgenommen wird. Das läfst sich aus den Untersuchungen von Wegner[1]), von Hamburger[2]) und auch aus den neuesten Untersuchungen von Klapp[3]) schliefsen. Demnach läfst sich die Bedeutung der von mir gefundenen druckregulierenden Nerven darin finden, dafs dieselben einen positiven intraintestinalen Druck herstellen in einer Höhe, welche die Resorption günstig gestaltet und die Kompression der abführenden Venen verhindert.

H. Beeinflussung des Tonus.

Unsere Versuche über Nervenreizung haben nun schon ergeben, dafs eine dauernde Beeinflufsung des Gesamttonus am Magen nicht gerade wahrscheinlich ist. Trotzdem kann man sie deshalb nicht für ausgeschlossen erklären, da doch die Verhältnisse bei solchen Experimenten ganz andere sind als sie

1) Langenbecks Archiv, Band 20.
2) Dubois, Archiv 1896, physiologische Abteilung.
3) Mitteilungen aus den Grenzgebieten der Medicin und Chirurgie, Bd. 10.

im natürlichen Leben vorkommen. Mich interessierte hauptsächlich die Frage, ob es möglich ist, durch thermische Reize den Magentonus so zu beeinflufsen, dafs man diese Eigenschaft therapeutisch verwenden kann. Diese Sache hätte grofse Bedeutung für die Stillung von Blutungen aus Magengeschwüren. Ich habe diese Versuche in verschiedener Weise angestellt.

1. Ich legte einem Hunde eine Ösophagusfistel an, damit ich von hier aus mit der Sonde in den Magen gehen konnte, ein Verfahren, bei welchem sich die Hunde auch ohne Narkose ganz ruhig verhalten. An eine Schlundsonde wurde eine feine Gummiblase angebunden, welche eine Nullkapazität von 150 ccm hatte. Diese Gummiblase wurde in den Magen eingeführt, dann mit gewöhnlichem Wasser danach mit derselben Quantität Eiswasser und schliefslich mit heifsem Wasser gefüllt. Es wurde jedesmal der Druck bestimmt, welcher in der Gummiblase herrschte. Damit keine Fehlerquellen entstanden, war die Magensonde eine starre gerade Röhre und wurde horizontal gelagert. Daran wurde eine horizontale Glasröhre angeschlossen und an diese ein Manometer. Durch die horizontale Lage der Röhren ist es möglich, den im Magen herrschenden Druck ohne Fehler zu bestimmen. Wir erhielten so von einem mittelgrofsen Dachshund folgende Werte. In der Gummiblase waren jedesmal 150 ccm Wasser verschiedener Temperatur.

Druck bei Wasser von 37° C.			bei Eiswasser	bei 55° C.
Minuten	0	4—8 cm	4—8	7
»	1	3—8 »	5—12	12
»	2	4—8 »	4	10
»	3	3—10 »	6	14
»	4	4—8 »	6—10	12
»	5	5—10 »	7	8
»	6	4—8 »	4	10
»	7	3—8 »	5	7
»	8	6—8 »	8	12
»	9	5 »	10	7
»	10	2—8 »	8	6

Temperatur des Wassers beim Herauslassen bei II 28° C., bei III 38° C.

Die zweite Methode war folgende. Es wurde an eine Schlundsonde eine kleine Gummiblase gebunden mit geringer Nullkapacität. Diese Blase wurde mit Luft gefüllt und dann mit einem Manometer verbunden zur Messung des Magendruckes. Es wurde nun daneben eine zweite dünne Magensonde eingeführt und diese mit einem Trichter versehen. Es wurde nun der Magen fünf Minuten lang mit Wasser von verschiedenen Temperaturen gespült. Eine besondere Beeinflussung des Magentonus mufste sich dann am Manometer ausweisen. Wir erhielten so nach der Spülung mit Wasser von Körpertemperatur (5 Minuten lang) 4—8 cm. Nach einer 5 Minuten langen Spülung mit Wasser von 55° C. 6—10 cm. Nach einer 5 Minuten langen Spülung mit Eiswasser 6—10 cm.

3. Wurde die Magenkapacität bestimmt für Wasser verschiedener Temperaturen bei einem niederen Druck von 10 cm. So erhielten wir bei

	herein	heraus
55° C.	200	200
	150	150
	180	140
37° C.	140	140
	170	140
	130	130
0° C.	150	130
	170	190
	150	150.

4. Wurde der Druck bestimmt bei geöffneten Bauchdecken in Äthernarkose. Man kann nun zwar diesem Verfahren entgegen halten, dafs durch die Narkose die Wirkung der Nerven herabgesetzt wird. Doch kann man, wenn die Bauchdecken geöffnet sind, der Pylorus abgebunden und die Kanüle in den Magen eingebunden ist, die Eingeweide mit Watte bedecken und die Narkose oberflächlich halten, da die Versuche gar nicht schmerzhaft sind. Wären die thermischen Reize sehr kräftige, so müfsten sie auch bei dieser Versuchsanordnung Resultate er-

geben. Wir erhielten so bei einem mittelgrofsen schwarzen Pudel folgende Werte. Füllung des Magens mit

500 ccm Wasser		38° C.	13° C.
nach Minuten	0	Druck 5—6	4
	1	4—6	4
	2	4	4
	3	3—5	5
	4	4	5
	5	3—5	5
	6	3	6
	7	4	6
	9	3—5	6
	10	3	6

500 ccm v. 55° C.		500 ccm Eiswasser		500 ccm 10% Kochsalzlös. v. 38° C.	
Min. 0	D. 4	Min. 0	D. 3	Min. 0	D. 3—4
1	5	1	5	1	4
2	4	2	4	2	4
3	3—4	3	4	3	4
4	4	4	4	4	6
5	4	5	6	5	5
6	3—4	6	2—3	6	6
7	3—4	7	2—3	7	6
8	3—4	8	4	8	5—6
9	4—5	9	4	9	5
10	4½—5	10	5	10	4.

Nach all diesen Versuchen kann man sagen, dafs die thermischen Wirkungen auf den Tonus des Magens, wenn überhaupt vorhanden, geringe sind. Wenn Ewald in seinem Vortrage auf dem letzten Kongrefs für innere Medizin gegen Magenblutungen Spülungen mit Eiswasser empfiehlt, so ist das schwer verständlich. Der kontrahierende Einflufs auf den Magen kann für die Blutstillung überhaupt nicht in Betracht kommen; er ist, wenn überhaupt vorhanden, minimal.

Und was die Einwirkung auf die Blutgerinnung anbetrifft, so wird dieselbe durch Eiswasser geradezu verhindert, wie wir aus der Physiologie wissen. Ich will nicht jeden Einflufs der

thermischen Einflüsse auf den Magentonus leugnen, zumal ich mich beim Menschen mitunter überzeugen konnte, dafs ihre Magenkapacität in kaltem Wasser weniger betrug als wie im warmen, doch möchte ich hieraus nach den negativen Erfahrungen, die ich bei meinen neueren Versuchen gemacht habe, nicht schliefsen, dafs dies allein von der Beeinflussung des Tonus herrühren müsse. In dieser Beziehung spielt auch die Toleranz gegen die Temperaturen bei den verschiedenen Menschen eine grofse Rolle, und diese können z. B. durch einfache reflektorische Kontraktion der Bauchdecken und andere Mittel (Kontraktion des Zwerchfelles) die Magenkapacität herabsetzen ohne Änderung des Magentonus. Bei ausgeschnittenen Mägen habe ich allerdings starke Beeinflussung des Tonus durch Temperaturen gesehen. Ich erinnere hier an meine Kurven Tafel VIII b, 1. und 2. Feld. Tafel XI c 2. Feld. Tafel VII a, 4. 5. und 6. Feld. Doch möchte ich diese Resultate nicht mehr auf den lebenden, von Blut durchströmten Magen übertragen. Dafs der Tonus des lebenden Magens durch Temperaturen nicht sehr zu beeinflussen sein wird, das läfst sich zuletzt aus Zweckmäfsigkeitsgründen verstehen. Wir würden dann z. B. 2 Teller heifse Suppe nicht ebenso gut zu uns nehmen können, wie 2 Glas kaltes Bier. Ich will gar nicht leugnen, dafs die Temperaturen einen Einflufs auf die Aufenthaltsdauer der Speisen im Magen und auf die Kraft der austreibenden Peristaltik äufsern können, doch kann diese Sache nicht mit dem Tonus zusammen geworfen werden, und ist eine Frage, die für sich experimentell zu lösen ist.

Wenn man von dem Einflufs starker Gifte absieht (Pilocarpin, Physostigmin), so gelingt eine effektvolle Steigerung resp. Herabsetzung des Gesamttonus nur durch Schaffung von Hindernissen für die Peristaltik. Auf Grund meiner Versuche läfst sich das Gesetz folgendermafsen formulieren: Direkt oberhalb des Hindernisses tritt eine Erhöhung des Gesamtdruckes infolge verstärkter peristaltischer Bewegungen ein, in den weiter oben gelegenen Abschnitten aber eine Erschlaffung. Der Beweis für den Magen ist durch folgende Beobachtungen zu erbringen.

1. Klinisch zeigt sich, dafs bei jeder Verengerung des Magenausganges der Magendruck erhöht ist durch die peristaltischen Bewegungen; das ist die sog. Magensteifung. Diese trifft nicht nur den Pylorusteil des Magens, sondern auch den Fundusteil. Für letzteres konnte ich eine sehr geeignete Beobachtung anstellen an einem meiner Patienten, dem ich den Pylorusteil wegen Carcinoms exstirpiert hatte. Der Fundusteil war für sich vernäht worden und an der hinteren Wand eine Gastro-Enterostomie mittels Knopf angelegt. Der Knopf war nun in den Magen gefallen und keilte sich einige Male nach dem Essen in der Magendünndarmfistel ein und verschlofs dieselbe. Dies machte sich sofort bemerkbar durch das Gefühl von Druck und objektiv durch das Aufgetriebensein und die erhöhte Spannung des Magenstumpfes. Bei diesem Patienten konnte man nun in diesem Zustand den Knopf deutlich palpieren und in den Magen zurückmassieren. Alsbald liefs nun das Druckgefühl und die Spannung des Magens nach, ohne dafs der Mageninhalt deswegen weniger geworden wäre.

2. Läfst sich dies durch Experiment manometrisch nachweisen, wenn man einem Hunde den Pylorus unterbindet und durch eine Witzelfistel den Druck im Magen bestimmt. Der Druck steigt dann nicht selten zur Höhe von 15 bis 20 cm an.[1]) Unterbindet man aber unterhalb des Duodenums, so tritt eine Erhöhung des Druckes im Duodenum (infolge vermehrter Peristaltik ein), im Magen aber zeigt sich eine Herabsetzung der Peristaltik. Dies läfst sich nach zwei verschiedenen Methoden beweisen.

1. Manometrisch: Zu diesem Zwecke unterband ich Hunden das Duodenum nach seinem Durchtritt durch die Radix mesenterii. Es wurde nun ein Drain im Magen und einer im Duodenum eingenäht und in diese wurden Steigröhren eingelegt. Der Druck im Magen betrug zwischen 0 und 2 bis 3 cm, während der Druck im Duodenum zwischen 8 bis 20 cm betrug.[2])

1) Ein Beispiel siehe Langenbecks Archiv Bd. 62. Kelling, Studien zur Chirurgie des Magens Kap. VII.

2) Eine genaue Tabelle findet sich in meiner Arbeit in Langenbecks Archiv Bd. 62.

2. Unterbindet man den Hunden das Duodenum unterhalb der Radix mesenterii und näht das Jejunum in den Magen zirkulär ein, so gehen diese Tiere alle zu Grunde.

1.	3monatl. Hund 3200 g Gew.,	Tod	nach	13½	Tag.	bei	2000 g	Gew.
2.	9 kg schwerer Hund	»	»	5	»			
3.	19½ kg » »	»	»	5	»	»	16 kg	»
4.	20½ » » »	»	»	17	»	»	18 »	»
5.	25½ » » »	»	»	7	»	»	20½ »	»
6.	19½ » » »	»	»	15	»	»	13½ »	»
7.	830 g » »	»	»	3½	»			

Der Sektionsbefund ist bei sämtlichen Tieren gleich; das Duodenum erweitert, der Magen ist grofs und schlaff. Jejunum und Ileum sind fast leer. Das überfüllte Duodenum hebt die Peristaltik des Magens auf und infolgedessen gelangt der Mageninhalt nicht genügend durch die Anastomose in das Jejunum. Demnach starben die Tiere den Hungertod. Ich will nicht unerwähnt lassen, dafs meine Untersuchungen am Hunde nicht übereinstimmen mit den Resultaten beim Menschen, und dafs diese Operation zweimal mit Erfolg ausgeführt worden ist, einmal von Moyniham Brit. med. Journal v. 5. XI. 1901 und einmal von Lindner[1]), doch zeigten diese beiden Fälle in der ersten Zeit Störungen schwerer Atonie des Magens. Dafs der Hemmungsreflex, welcher vom obersten Dünndarm auf den Magen ausgeübt wird, auch beim Menschen besteht, konnte ich noch durch eine andere klinische Beobachtung bestätigen. Legt man Patienten mit hochgradigem Geschwür oder Magenkrebs eine hohe Jejunumfistel an und nährt sie von dieser Fistel, so findet man sehr bald, dafs man nicht per Os und per Fistel gleichzeitig nähren darf, sondern man darf ausschliefslich nur den einen oder den andern Weg wählen, sonst klagt der Patient sehr bald über Völle im Magen, langes Liegenbleiben der Speisen darin und Brechneigung. Ferner will ich nicht unerwähnt lassen, dafs meine Untersuchungen nicht übereinstimmen mit den Resultaten vom Marbaix[2]). Jedoch habe ich keine Veranlassung, von meinen eindeutigen Resultaten deswegen abzugehen.

1) Kölbing, Bruns Beiträge zur klin. Chirurgie, Bd. 33, Heft 2.

2) »La cellule« t. XIV, 2e fasc. Louvain bei A. Uystpruyst, Libraire.

Sehr interessant ist es, wie sich die Sache beim Darm verhält. Wir bekommen hier durch die manometrischen Messungen einen genauen Aufschlufs, dafs der Mechanismus der Regurgitation beim Ileus auf nervöse Einrichtungen zurückzuführen ist. Dafs die Sache nicht rein mechanisch zu erklären ist, wie dies Nothnagel versucht[1]), das wird uns sofort aus folgenden Zahlen klar:

1. Einem mittelgrofsen Pudel wurde das Ileum an der Bauhinschen Klappe unterbunden. 20 cm oberhalb der Unterbindung wurde ein Drain ins Ileum eingenäht. Ein zweiter Drain wurde ins Jejunum eingenäht, etwa 20 cm unterhalb des Duodenums. Nach 24 Stunden war der Hund ganz munter und er bekam Milch zu saufen. 4 Stunden nach der Nahrungsaufnahme wurden in die Drains Steigröhren eingebunden. Es befand sich im Darme ein übelriechender bräunlicher, mit Gasblasen vermischter Inhalt, unten allerdings bedeutend übler riechend als oben. Der Druck betrug nun im obersten Jejunum nur 1 bis 4 cm, im untersten Ileum aber zwischen 13 und 18 cm. Der Druck wurde eine Stunde lang beobachtet. Während 15 Minuten hatte er z. B. folgende Werte:

Minuten	Jejunum	Ileum
1	4	15
2	2	12
3	3	13
4	3—4	18
5	2	12
10	3	15
12	2	16—18
13	3	10
14	3—4	14—15
15	1	15

Ein zweiter Versuch ergab die Unterschiede noch drastischer. Es handelt sich um einen mittelgrofsen Dachshund. Die Unterbindung lag 20 cm oberhalb des Coecums. Die eine Kanüle 10 cm oberhalb dieser Unterbindung, die andere Kanüle im obersten Jejunum 10 cm unterhalb des Durchtritts durch die Radix mesenterii. Hier ergab nach 24 Stunden — der Hund hatte Wasser

1) Die Erkrankungen des Darmes S. 284 u. f. Wien 1898.

gesoffen — die Druckmessung im Jejunum Werte von 0—1 cm, trotzdem das Jejunum nicht leer war, sondern mit galligem Inhalt und Gasblasen gefüllt war. Hingegen hatte im Ileum der Druck eine Höhe von 10—20 cm. Ich gebe hier eine Tabelle der Werte, wie sie innerhalb 20 Minuten beobachtet wurden.

Minuten	Jejunum und	Ileum
1	1	13
2	2	20
3	2	19—20
4	0,5	18
5	1	18
6	0—0,5	15
7	1	19
8	0—1	18
9	1	15
10	0	18
11	0—1	10—11
12	0—1	10
13	0—1	10
14	0—1	10
15	0—1	10
16	0—1	13—14
17	0—1	14
18	0—1	14
19	0—1	15—16
20	0—1	16.

Diese Druckbestimmungen sind selbstverständlich ohne Narkose in Rückenlage des Hundes ausgeführt worden. Diese Versuche zeigen sehr drastisch, wie beim Darmverschlufs durch Reflex die Peristaltik in den obersten Teilen aufgehoben wird und aufserdem der Darm reflektorisch erweitert wird, während direkt am Hindernis die Peristaltik abnorm gesteigert ist.

Was das Erbrechen anbetrifft, so konnte ich mich überzeugen, dafs dies schon zu einer Zeit einsetzte, wo von Überfüllung des Magens durch Rückstauung noch gar keine Rede sein konnte, dafs dies also auch durch Reflex hervorgerufen werden kann und zwar bei gewöhnlicher Unterbindung des Darmes, wo von einer besonderen Reizung der Nerven oder Strangulation der Gefäfse gar keine Rede sein konnte. Wir müssen also die alte Swietensche Theorie, welche auch Nothnagel ver-

tritt und von welcher die Regurgitation und das Erbrechen beim Ileus rein mechanisch durch Überlaufen des gestauten Inhaltes magenwärts erklärt wird, nach diesen Versuchen aufgeben.

Haben wir uns bis jetzt in diesem Kapitel mit der reflektorischen Beeinflussung des Tonus beschäftigt, so sollen jetzt noch einige Betrachtungen über die anatomische Atonie folgen. Ich mufs mich hier auf den Magen beschränken, weil ich nur dessen Zustand genauer studieren konnte. Wenn man die Arbeiten der Kliniker über die Atonie des Magens liest, so findet man lauter Begriffsbestimmungen und Symptomatologie, aber keinen mechanischen Aufbau des Krankheitsbildes. Unter Atonie des Magens verstehe ich einen Erschlaffungszustand seiner Wandung, vermöge deren sich der Magen nicht wie ein normaler Magen kontrahieren und entleeren kann, obwohl keine Verengerung des Magenausganges vorhanden ist und sich der Magen schliefslich doch der Speisen vollständig entleert. [Die Pylorusstenose kann ja unbesprochen bleiben, weil bei dieser, wenn sie nicht carcinomatös ist, die Muskeln hypertrophisch werden. Es wird behauptet, dafs diese hypertrophischen Muskeln einmal infolge der Überanstrengung insufficient werden können, doch ist dies jedenfalls bei gutartigen Stenosen sehr selten.] Ich beziehe mich also hier auf die Erschlaffung der Magenmuskulatur ohne anatomische Stenose. Dieser Zustand kommt wohl fast nur auf mechanischer Grundlage zu stande. Einmal akut infolge der Überdehnung der Muskeln bei Überfüllung des Magens; hier dauert er nur mehrere Tage. Chronisch kommt der Zustand vor bei der Enteroptose. Ich will hier nun absolut nicht über die klinische Bedeutung der Enteroptose sprechen, weil ich dies schon in meinen früheren Arbeiten gethan habe, ich will nur auf meine neueren Erfahrungen, betreffend die Entleerung des atonischen Magens, eingehen. Es ist sehr merkwürdig, dafs wir sehr grofse und schlaffe Mägen finden, welche die Speisen, wenn auch langsam so zuletzt doch vollständig in den Darm zu entleeren vermögen. Durch maximale Kontraktion bis zum Volumen-Null kann sich ein solcher Magen nicht entleeren. Dafs sich der atonische

Magen anders entleert als der normale, begründe ich durch folgende Beobachtungen. Der normale Magen entleert sich hauptsächlich durch die Peristaltik des Pylorusteiles. Infolge der dem Pylorusteil innewohnenden Innervation wird Luft und Flüssigkeit schnell herausbefördert, die festen Speisen werden aber in den Fundus zurückgeschoben. Infolgedessen zeigt der normale Magen eine Eindickung seines Inhaltes. So wird z. B. aus dem bekannten Boasschen Probefrühstück, welches in einem Weifsbrötchen und Wasser besteht, eine eingedickte feine Mehlsuppe, und wir können ferner in einem normalen Magen meistens kein Plätschern und Schwappen erzielen, denn beim normalen Magen ist nur der Pylorusteil der Palpation zugängig. Dieser enthält in der Regel keine Luft und ist nach der Nahrungsaufnahme im Zustande energischer Kontraktion.

Ganz anders verhält sich der atonische Magen. Für diesen finde ich charakteristisch erstens die Beschaffenheit des Inhaltes. Derselbe ist erheblich wasserreicher, das Probefrühstück ist nicht eingedickt, grobe und feine Speiseteilchen sind gleichzeitig darin enthalten. Man sieht, dafs hier die Scheidung des Festen vom Flüssigen fehlt, weil bei der Atonie der Pylorusteil vom Fundusteil nicht getrennt ist. Beim normal verdauenden Magen ist er getrennt durch die Plica praepylorica, wie ich in einer früheren Arbeit nachgewiesen habe.[1]) Bei der Atonie fehlt auch diejenige Funktion des Pylorusteiles, welche Flüssiges und Luft zuerst herausschafft. Alle Patienten mit Atonie geben an, dafs ihnen Wasser lange im Magen liegen bleibt, und viele vermeiden instinktiv das Trinken während des Essens. Gesunde Menschen mit normal arbeitendem Pylorusteil können ruhig zum Essen trinken, ohne dadurch in der Aufnahme fester Speisen behindert zu sein. Zweitens ist der Pylorusteil auch im verdauenden Magen nicht kontrahiert und er zeigt, da Gasförmiges und Flüssiges nicht zuerst herausgeschafft worden ist, noch nach Stunden nach der Nahrungsaufnahme ein ausgebreitetes Plätschern. Dafs der atonische Magen nach der Entleerung der Speisen nicht maximal kontrahiert ist, läfst sich noch durch folgende zwei Erschei-

1) Boas' Archiv für Verdauungskrankheiten, Bd. 6 S. 440.

nungen stützen. Untersuchen wir solche Patienten viele Stunden nach der Nahrungsaufnahme, so finden wir noch häufig Schwappen im Magen, wenn wir aber die Sonde einführen, ist fast nichts anderes darin als etwas Schleim und Luft. Manchmal zeigen diese Mägen in solchem Zustande kein Schwappen; sowie wir den Patienten aber ein halbes Glas Wasser trinken lassen, so tritt sofort ausgebreitetes Schwappen ein. Das ist ein Beweis. dafs das Wasser in einen Hohlraum gekommen ist, in welchem schon gröfsere Mengen Luft vorhanden waren.[1]) In einem normalen Magen wird man im leeren Zustande nicht Luft im Pylorusteile nachweisen können, denn das dicke elastische Muskellager ist hier immer zusammengezogen. Die Erweiterung des Pylorusteiles und der Gehalt an Luft in demselben ist charakteristisch für den atonischen Magen. Die Auffassung, welche in den Lehrbüchern der Magenkrankheiten vertreten ist, nach welchen der atonische Magen ein solcher ist, welcher im leeren Zustande zusammengezogen ist, sich aber bei der Füllung sehr leicht erweitert, halte ich für unrichtig. Auf diese Ansicht gründet sich auch die Dehiosche Probe, nach welcher die Atonie darnach diagnostiziert wird, dafs die Dämpfung der grofsen Kurvatur mit dem Trinken gröfserer Mengen Wassers auffällig schnell herabsteigt. Diese Probe ist rein theoretisch konstruiert, wird zwar überall empfohlen, doch ist es unmöglich, dafs jemand auf diese Weise eine Atonie nur mit einiger Sicherheit diagnostizieren kann. Die allgemein vertretene Auffassung gründet sich darauf, dafs der atonische Magen sich seiner festen und flüssigen Speisen entleeren kann, daraus wird geschlossen, dafs er fähig sein müsse, sich ad maximum zu kontrahieren. Diesen Schlufs halte ich aber für unrichtig, da wir nachgewiesen haben, dafs es für die Atonie cha-

1) Nach Elsner (Berliner klin. Wochenschrift 1901, Nr. 16 u. 43 und 1902, No. 22) hat das Plätschern gar keine Bedeutung für die Atonie, weil es unter besonderen Umständen ähnlich auch beim Magengesunden vorkommt. Nach dieser wunderbaren Logik könnten graue Haare auch keinen Wert für die Erkennung des Alters haben, denn sie kommen unter Umständen auch bei ganz jugendlichen Individuen vor. Die Hypertrophie des Herzens hätte dann bei einem Herzgeräusch keine Bedeutung, weil sie auch ohne Geräusch vorkommt u. a. mehr.

rakteristisch ist, dafs der von Speisen entleerte Magen immer noch gröfsere Mengen Luft enthält. Es frägt sich nun erstens, woher kommt diese Luft, und zweitens, wie vermag sich der Magen trotz seiner mangelnden Kontraktionsfähigkeit zu entleeren?

1. Die Luft im Magen kann teils durch Verschlucken, teils durch die Atmung hineinkommen. Dafs durch die gewöhnliche Respiration Luft in den Magen eingesaugt werden kann, mufs man als durchaus möglich zugeben. Es gibt Personen, bei denen weder der Muskulus pharyngis infer. noch der Sphincter der Kardia luftdicht schliefst. Durch meine Versuche, die Speiseröhre für die Ösaphagoskopie mit Luft aufzublasen, habe ich hierüber Erfahrungen sammeln können. Die Luft kommt nun in den Magen hinein und bleibt in demselben, weil dadurch ein Hohlraum in der Bauchhöhle ausgefüllt wird. Dieser Hohlraum entsteht auf Grund der Enteroptose. Bei der Enteroptose ist das Volumen der Bauchhöhle zu grofs für den Inhalt. Die Eingeweide sinken nach unten, der Rippenbogen leistet dem äufseren atmosphärischen Druck Widerstand, und es entsteht so im Kuppelraum des Zwerchfelles ein negativer Druck. Natürlich kann dieser Zustand unter Umständen aufgehoben werden wie durch Meteorismus, durch abnorme Kontraktion der Bauchdecken, durch Tiefstand des Zwerchfelles. Doch sind dies Ausnahmen. Das Reguläre bei der Enteroptose ist die Gleichgewichtsstörung zwischen Volumen der Bauchhöhle und Inhalt.

2. Der Magen vermag sich seines Inhaltes trotz der mangelnden Kontraktionsfähigkeit auf folgende Weise zu entleeren. Die Peristaltik des Pylorusteiles beseitigt die Kontraktion des Pylorusschliefsmuskels. Und nun kann der Magen durch einfache Herstellung eines positiven Innendruckes seinen Inhalt in den Zwölffingerdarm schieben. Dafs thatsächlich ein solcher positiver Druck hergestellt wird, davon habe ich mich durch mehrere Messungen überzeugt, welche ich an Patienten mit Magenfisteln anstellen konnte, wenn sie zu ihrer Enteroptose noch ein Ösaphagus-Carcinom bekamen. Nun braucht sich der atonische Magen nicht ad maximum zu kontrahieren, weil er sich immer mit Luft nachfüllt. Die Luft ist also ein Füllmaterial, durch Hilfe dessen die

Speisen in den Darm gedrückt werden. Als begünstigend für die Entleerung des Magens kommt nun noch hinzu die Atmung. Wenn nämlich der Magen vollgefüllt und gespannt und das Duodenum wenig gefüllt und weniger gespannt ist, so mufs der negative Druck in der Bauchhöhle das Duodenum mehr erweitern wie den Magen, mit anderen Worten: er mufs saugend wirken. Diese Ansaugung tritt nun besonders im Zustand der Exspiration ein, wobei noch der gefüllte Magen zwischen Rippenbogen und Rückwand komprimiert und damit sein Druck erhöht wird. Wenn der Magen aber schlaffer ist als der Darm, so wirkt umgekehrt die Atmung saugend auf den Magen. So finden wir dann bei der akuten Dilatation nach der Entleerung des Magens mit der Sonde in den ersten Tagen konstantes Ansaugen von Darminhalt in den Magen. Der Einflufs der Atmung läfst sich nun noch sehr begünstigen durch die Lagerung. Je mehr nämlich der Magen in die Kuppe des Zwerchfelles zurücksinkt, um so mehr ist er den Einflüssen der Atmung ausgesetzt. Diese Lageänderung wirkt noch insofern nützlich, als der Knick, welcher sich bei Enteroptose oft zwischen Pylorusteil und Duodenum bildet, dadurch ausgeglichen wird. Therapeutisch läfst sich der vorgetragene Mechanismus in folgender Weise verwenden. Nach den Mahlzeiten läfst man die Patienten sich mit dem Oberkörper horizontal legen, nur den Kopf durch ein kleines Kissen erhöht. Bei hochgradiger Gastroptose kann man das Becken höher lagern als den Rumpf, indem man das Fufsende des Bettes höher stellt. Man läfst nun in Zwischenräumen von 5—10 Minuten mehrere tiefe Atemübungen ausführen, bei denen die Bauchdecken nicht kontrahiert werden sollen.

Dafs der Magen sich thatsächlich ohne jedes Kontraktionsvermögen entleeren kann, das läfst sich noch beweisen an einer anderen Erkrankung, nämlich der ausgebreiteten carcinomatösen Magenverhärtung. Wir finden Mägen, welche so von harten Wandungen umschlossen sind, dafs sich diese nicht zusammenlegen können und ein konstanter Hohlraum bleibt. Trotzdem entleeren sich diese Mägen der Speisen, sie entleeren sich aber nicht der Luft und des Schleimes. Dieses Verhalten habe ich

bei meinen Gastroskopischen Untersuchungen feststellen können. Auf diese Eigenschaft hin könnte man eine klinische Methode ausarbeiten zur Diagnose nicht palpabler Funduscarcinome, wenn man nämlich bestimmt, wie viel Schleim und Luft zurückbleibt, nachdem man die noch weichen Wandteile des Magens durch gewöhnliches Absaugen zum Zusammenklappen gebracht hat.

Man könnte nun denken, dafs der Darm das Vermögen hätte durch seine peristaltische Bewegung selbst ansaugend zu wirken. Wir haben gesehen, dafs die Muskulatur die Fähigkeit hat, auf nervöse Reize hin sich selbstthätig zu verlängern. Wir finden häufig reflektorische Erweiterungen an Ring- und Längsmuskeln, und wenn dieselben mit einer gewissen Kraft erfolgen könnten, so müfste der Darm bei seiner Erweiterung saugend wirken. Ich habe darüber nun eine Anzahl Versuche angestellt am Darm des Hundes. Der Hund wurde in Äthernarkose versetzt, eine Dünndarmschlinge aus der Bauchhöhle hervorgezogen und dieselbe an einer Seite unterbunden. Es wurde nun in einer Entfernung von 20 bis 30 cm von der Unterbindung der Darm quer durchschnitten und in den Querschnitt wurde ein knieförmig gebogenes Glasröhrchen luftdicht eingebunden. Das Ende des Glasröhrchens wurde dann unter Wasser geführt. Es konnten nun die Volumensänderungen bei den spontanen Kontraktionen des Darmes gut beobachtet werden. Es wurde nun die Darmschlinge mit den Fingern leer gedrückt und dann mit dem Faradischen Strome gereizt. Die Ringmuskulatur kontrahierte sich dadurch kräftig und der Darm bildete einen blassen zusammengezogenen Strang. Er geht dann, wenn die Reizung aufhört, von selbst in eine kurze dicke Form über. Aber trotz dieser auffälligen Formänderungen entsteht niemals ein negativer Druck. Ich habe auch Röhrenskelette in den Darm gebracht, um die gegenseitige Reibung und Adhäsion der Darmschleimhaut aufzuheben. Auch hier entstand bei obiger Versuchsanordnung niemals ein negativer Druck. Über diesen Punkt, ob die Muskulatur bei ihrer Verlängerung Kraft entwickeln kann, habe ich noch Versuche angestellt an Blutegeln. Der Bau des ganzen Tieres mit seinen starken Muskellagern hat gar keinen andern Zweck, als ein Instrument

zum Absaugen von Flüssigkeit zu bilden. Könnte nun die Muskulatur bei ihrer Erweiterung einen Widerstand überwinden, so würde es für den Blutegel sehr zweckmäfsig sein, wenn er von dieser Eigenschaft Gebrauch machen könnte, denn dann könnte er seinen Darm unter negativen Druck stellen, was fördernd für die Absaugung des Blutes wäre. Ich habe nun Druckbestimmungen im Darm des saugenden Blutegels vorgenommen, was gar nicht so schwer ist, weil das Blut nicht gerinnt. Ich liefs den Blutegel sich etwa halb vollsaugen, stach ihn dann mit einer feinen Kanüle an und überzeugte mich durch Ansaugen mit der Spritze, ob ich in den Darm gekommen war. Ich liefs das Tier ruhig weiter saugen und verband meine Kanüle mit einer kleinen Glasröhre, in welcher physiologische Kochsalzlösung vorhanden war. Wenn nun der Meniskus der Flüssigkeit etwas über der Einstichstelle gehalten wurde, so lief die Flüssigkeit in den Darm des saugenden Blutegels. Wurde aber der Meniskus etwas tiefer gehalten, so lief sofort etwas Blut heraus. Ich habe diese Versuche mehrmals mit dem gleichen Erfolge wiederholt und kann den Satz aufstellen: Im Darme des saugenden Blutegels herrscht weder ein positiver noch ein negativer Druck, sondern allein der atmosphärische Druck. Auf Grund unserer Versuche ist man berechtigt zu sagen, dafs die reflektorische Verlängerung der Darmmuskeln niemals saugend wirken kann.

Diese Versuche ergänzen die in den früheren Kapiteln besprochenen Experimente über die Elasticität der glatten Muskulatur. Die Elasticität des glatten Muskels ist nur von seiner Länge abhängig. Der Muskel kann auf Grund von nervösen Reizen in eine kürzere oder längere Form übergehen. Kraft zu entwickeln vermag er aber nur beim Übergang von der längeren Form in die kürzere, nicht umgekehrt. Ich denke mir, dafs bei der Verlängerung die anisotrope Substanz schrumpft. Der Muskel kann dabei keine gröfsere Kraft entwickeln, als die Kompression der elastischen Substanz hergibt. (Vgl. S. 215.) Da keine äufsere Kraft dabei entwickelt wird, mufs die Federkraft gleich sein der inneren Reibung des Muskels. So würde vom ökonomischen

Standpunkte aus der geringe Modul der elastischen Substanz zweckmäfsigste Einrichtung repräsentieren.

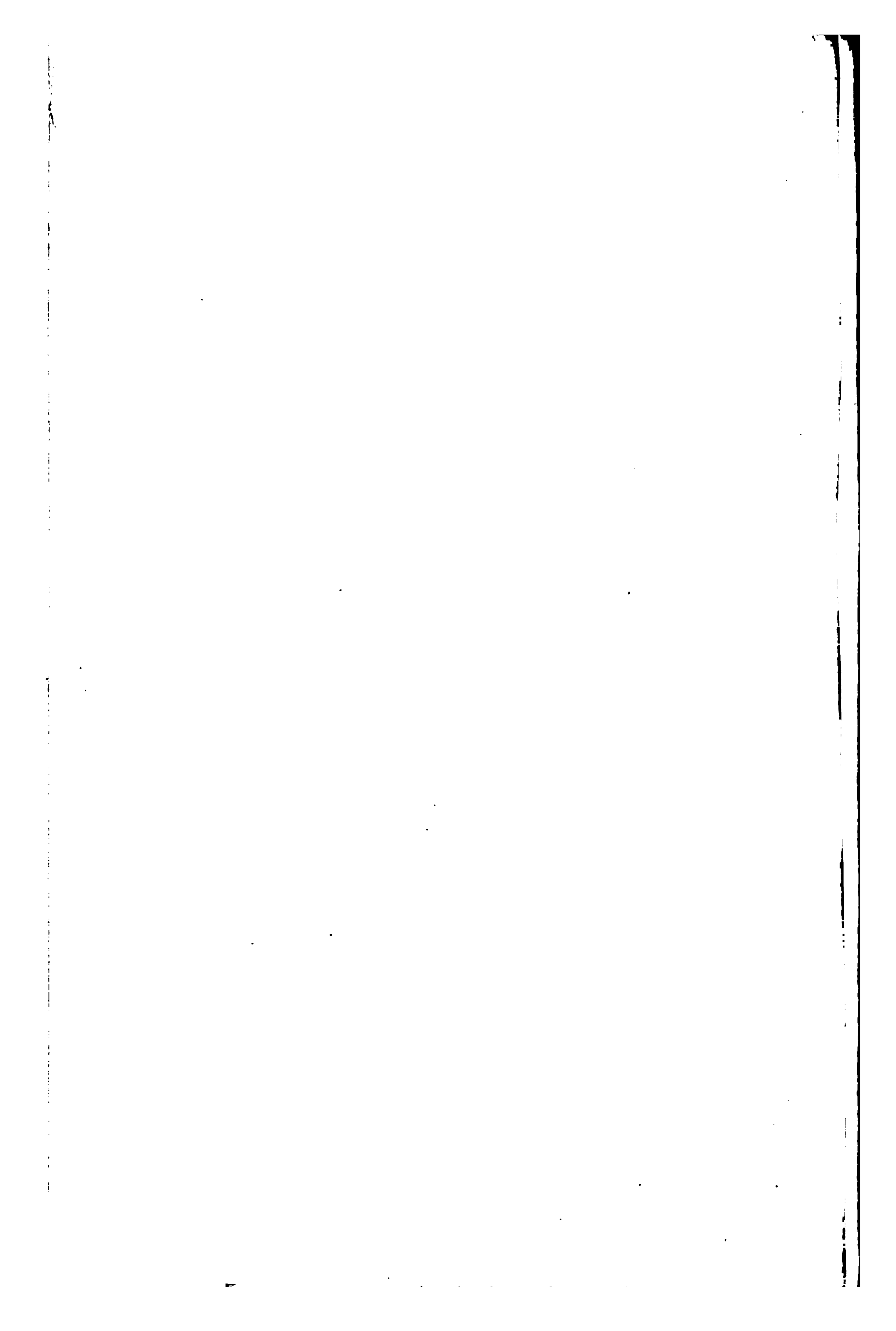
Bei dieser Arbeit schwebte mir als Ziel vor eine Monograph über die Mechanik des Abdomens zu schreiben und zu zeige wie rein mechanische Fragen physiologische und pathologisc Bedeutung haben, weil sie auf Füllung und Entleerung, Bl und Lymphzirkulation der Abdominalorgane von mafsgebende Einflufs sind. Dieses Ziel konnte nun leider auch nicht a nähernd erreicht werden, weil mir als praktischem Arzte we das Material eines gröfseren Krankenhauses noch die Hilfe v Assistenten zur Verfügung stand. Dank der überaus freundlich Unterstützung des Herrn Geheimrats Professor Dr. Ellenberg konnte ich aber das physiologische Institut der tierärztlich Hochschule mit allen seinen Hilfsmitteln benutzen. Es ist m ein Bedürfnis, Herrn Geheimrat Professor Dr. Ellenberger a dieser Stelle meinen aufrichtigen Dank auszusprechen. Es w mir so möglich, wenigstens einige Grundsteine zu errichten das Gebäude, welches die Mechanik der Bauchhöhle darstel und an dem noch aufserordentlich viel gearbeitet werden mu Wer sich mit diesen Fragen beschäftigt, der wird sich bald d rüber klar werden, dafs wir hier noch ganz in den Anfäng stecken. Das kommt meines Erachtens daher, dafs infolge der e seitig humanistischen Ausbildung die meisten Ärzte nicht imstan sind physikalische Phänomene selbständig zu beobachten und bearbeiten. Dieses wird mit der besseren realen Ausbildung d Ärzte anders werden, und wir werden hoffentlich bald in d normalen und pathologischen Mechanismus des Verdauung vorganges einen Einblick bekommen, ebenso gut wie in d Mechanik des Blutkreislaufes.

4				1		2			1		2	
V.	Dr.	V.	Dr.	V.	Dr.	V.	Dr.		V.	Dr.	V.	I
36	8,2	—	—	37	7,8	36	8,5		38	6,6	14	[illegible]
78	11,0	88	2,6	80	10,4	81	9,8		82	8,6	82—83	8,4
101	11,4	87	3,6	100	12,4	—	—		102	10,6	100	[illegible]
120	15,6	87	3,8	123	12,4	—	—		123	11,6	120	[illegible]

…n Chloral
…net. Tier
…r. Fester
…
…heraus-
…danach
…b).

Rückenmark durchschnitten am 6. Halswirbel. 1 Teil des rechten Vorderstranges ist stehen geblieben. Tier tot. Bei 2. bedeutet schwarz Rückenmarkreizung, gelb lokale Reizung und rot Vagusreizung.

Magen herausgesch…
mem NaCl-Wasser.
gelb starke lokale E…
nach überall gute lo…



Über den Fluorgehalt der Knochen und Zähne.

Zweite Mitteilung.

Von

Dr. **Jodlbauer.**

(Aus dem pharmakologischen Institut München.)

Die Frage nach dem Fluorgehalt in den Knochen und Zähnen hat, nachdem von Morichini 1803 Fluor in fossilen Elfenbeinknochen und von demselben im Vereine mit Gay-Lussac (1805) auch in den Knochen von Tieren der Gegenwart nachgewiesen war, manche Analytiker beschäftigt. Berzelius führte als erster quantitative Fluorbestimmungen aus und gab als Fluorgehalt der Knochen 1—2 % an. Diese Angaben wurden aber von vielen als nicht richtig gehalten. In den vierziger Jahren erst schlossen sich die meisten Chemiker ihnen an; jedoch stand die Anschauung, dafs frische Knochen viel fluorärmer seien als fossile, so fest, dafs man aus dem Fluorgehalt der Knochen Altersbestimmungen prähistorischer Knochen machen zu können glaubte. Berzelius selbst gab in einer späteren Arbeit, überzeugt von der Mangelhaftigkeit seiner Methode, den gefundenen Fluorgehalt als zu hoch an. Doch erschien dieser hohe Gehalt durch W. Heintz als bestätigt. Heintz fand (1849), dafs in den Knochen ca. 2 % überschüssige Basis vorhanden sind. Da er ferner mit der Ätzprobe Fluor in den Knochen nachweisen konnte, hielt er sich wie auch manche

späteren Analytiker für berechtigt, den Fehlbetrag bei Knochenanalysen gleich Fluor zu setzen. Die Unvollkommenheit der derzeitigen Methode macht aber alle diese Arbeiten ziemlich wertlos. Erst die neueren Untersuchungen mit exakteren Versuchsanordnungen verdienen nähere Berücksichtigung.

Zalesky bestimmte das Fluor mit dem v. Kobellschen Verfahren (Gewichtsabnahme eines Apparates aus böhmischem Glase, in dem man fluorhaltiges Material der Einwirkung konz. Schwefelsäure bei mäfsiger Wärme aussetzte). Er fand in den Knochen 0,2—0,3 % Fluor.

Carnots Ergebnisse (Überführung des Fluors in Fluorsilicium, Durchleitung des Gases durch eine Lösung von Fluorkalium und Wägung des hierbei entstehenden Kieselfluorkalium) schwanken zwischen 0,17—0,31.

Fast zur selben Zeit wie die Carnot-Arbeit erschien von Brandl und Tappeiner eine Abhandlung über »Ablagerung von Fluorverbindungen im Organismus nach Fütterung mit Fluornatrium.« Zur Bestimmung des Fluors wandten sie die von Wöhler-Fresenius angegebene Methode an, welche Brandl noch zweckdienlich modifizierte. Die mit fluorfreiem, gut gepulverten und getrockneten Quarzsand verriebene Substanz, welche CO_2-frei sein mufs, wird in einem Glaskolben mit wasserfreier Schwefelsäure bei 150—170° im Ölbad zersetzt. Das sich bildende Fl_4Si wird durch einen CO_2-freien getrockneten Luftstrom in einem mit angefeuchteten Bimssteinstückchen gefüllten U-Rohr, nach Vorlage eines leeren und eines mit Kupfervitriolbimsstein und Chlorcalcium gefüllten U-Rohre, zerlegt und die sich ringförmig abscheidende Kieselsäure gewogen.

Eine nach diesem Verfahren unternommene Untersuchung von 4 g Knochenasche eines normalen Hundes fiel ganz negativ aus. Drei Jahre später erschien die ebenfalls sehr interessante Arbeit von S. Gabriel (Chemische Untersuchung über die Mineralstoffe der Knochen und Zähne). Die Fluorbestimmungen machte er mit der bekannten Ätzprobe. Durch einen Vergleich seiner mit Knochenasche erhaltenen Ätzbilder oder besser Hauchbilder mit solchen, die er bei bekanntem Gehalte an Fluor er-

hielt, schlofs er approximativ auf die Fluormengen in Knochen. Er kam hierbei zu der Überzeugung, dafs Knochen und Zähne meist nur 0,05 % Fluor, in seltenen Fällen (Rinderzähne und Rinderknochen) 0,1 % enthalten.

Diese neueren Befunde, die im Vergleiche mit den früheren Angaben durch ihre geringen Fluormengen auffielen, waren für Professor v. Tappeiner die Veranlassung, seinen Schüler Harms für das Thema nochmals zu interessieren, um es mit der Fresenius - Wöhler - Brandlschen Methode nochmals sorgfältig zu bearbeiten. Harms bestimmte das Fluor nicht gewichtsanalytisch, sondern stellte die unterste Grenze fest, bei der mit dieser Methode Fluor eben noch deutliche positive Reaktion gibt und prüfte dann, welche Menge Knochen- oder Zahnasche nötig ist, um ebenfalls noch positive Reaktion zu erhalten. Er fand, dafs der Fluorgehalt noch geringer ist, als Gabriel angab, nämlich 0,005—0,022 %. Aus der Kleinheit der Fluormenge, ferner daraus, dafs im Gegensatz zu der Konstanz der übrigen Bestandteile der Knochen- und Zahnaschen der Fluorgehalt sehr schwankte, schlofs er, dafs das Fluor nur ein accessorischer Bestandteil der Knochensubstanz sei. Als Hempel 1899 eine neue gasanalytische Methode zur Bestimmung des Fluors neben Kohlensäure angab und mit derselben in den Zähnen einen Fluorgehalt von 0,2—0,31 % nachwies, wurde von mir und J. Brandl die Fresenius - Wöhler-Brandlsche Methode mit der neuen Hempelschen verglichen. (Siehe 1. Mitteilg. Zeitschr. f. Biol. Bd. 41, S. 487.)

So exakt sich beide Methoden erwiesen, so ist doch zum quantitativen Nachweis kleinster Mengen von Fluor die Hempelsche Methode zweckdienlicher, da bei der Entkohlensäuerung der Aschen leicht Fluorverluste eintreten. Deshalb machte ich neue Bestimmungen des Fluors in den Knochen und Zähnen verschiedener Tiere mit der Hempelschen Methode.

Zu letzterer möchte ich noch erwähnen, dafs das Wasser, welches zur Zersetzung und Absorbierung des bei der Analyse gebildeten Fluorsiliciums gedient hatte, stets mit $^1/_{100}$ Normal-Jodlösung titriert wurde, um durch eventuell nicht absolut

C-freie Asche und dadurch bedingte Bildung von schwefliger Säure fehlerhafte Analysen auszuschliefsen. Frei von schwefliger Säure war das Wasser nie zu finden, doch war die Menge sehr gering. Der höchste Gehalt an schwefliger Säure bei sämtlichen Analysen betrug 0,15 ccm = 0,00043 g. Meist war der Gehalt unter 0,1 ccm.

Die nun folgenden analysierten Knochen stammen von Tieren, welche, nachdem sie vom Institut angekauft waren, sogleich zum Zwecke der Analyse getötet wurden[1]). Ich möchte das besonders hervorheben, da die Analyse von Knochenteilen eines Hundes, der ein Jahr lang in den Stallungen des Instituts war, viel gröfsere Fluormengen ergab; er wurde sicher nie mit Fluor gefüttert, kann aber durch Auflecken von Harn und Kot anderer mit Fluor gefütterter Tiere chronisch kleine Mengen von Fluor aufgenommen haben.

Die Knochen von Rindern, Hunden, Meerschweinchen und Kaninchen ergaben folgende Werte:

Tier	Knochenteil	Menge der analysierten Asche	Fluorsilicium in ccm	Fluor in g	Fluor in %
Rind I	Oberschenkel	10,01	4,2	0,014	0,14
	Unterschenkel	7,625	2,8	0,0093	0,12
	Rippen	8,54	2,3	0,0077	0,09
Rind II . . .	Oberschenkel	7,325	2,0	0,0067	0,09
	Rippen	3,2839	0,5	0,0017	0,05
	Becken	8,735	1,6	0,0053	0,06
Hund I	Oberschenkel	9,4954	4,8	0,016	0,17
Hund[1])(jung, mit ersten Zähnen)	do.	4,0	2,0	0,0067	0,17
	Rippen	4,48	1,8	0,006	0,13
Kaninchen I .	Ober- und Unterschenkel	4,7531	2,8	0,0093	0,19
» II .	Ober- und Unterschenkel	5,598	5,4	0,018	0,32
Meerschweinch.	Gesamtskelett	3,7642	1,7	0,0057	0,15

1) Verascht wurden dieselben auf den Rat v. Tappeiners im Sauerstoffstrom in einem verschlossenen Platintiegel, der, aufser kleinen Veränderungen, dem von Tucker zur Herstellung von Pflanzenaschen ange-

Der Fluorgehalt der Knochen des oben erwähnten Institutshundes war folgender:

Knochenteile	Menge der analysierten Asche	Fluorsilicium in ccm	Fluor in g	Fluor in %
Humerus . . .	9,4201	15,2	0,0506	0,54
Radius und Ulna	9,387	12,8	0,041	0,44
Schädeldach . .	3,9079	1,2	0,004	0,10

Aus diesen Werten lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

1. Herbivoren und Carnivoren zeigen im Fluorgehalt ihrer Knochen keinen wesentlichen Unterschied.
2. Der Gehalt an Fluor im Knochen schwankt bei einzelnen Tieren ziemlich bedeutend (in den erwähnten Fällen von 0,05—0,32). Die Resultate stimmen ziemlich überein mit denen von Carnot, welcher fand im:

Schenkelknochen Mensch	Kopf Mensch	Schenkel Ochse	Seekuh	Schenkel Elefant	Zahn Elefant	Elfenbein
0,17	0,18	0,22	0,31	0,24	0,21	0,10

und Thomas Wilson, nach dessen Analysen enthalten sind im:

Femur (Mittelst.) Mensch	Femur (Kopf) Mensch	Ochsenknochen	Mensch Rippe	Kalbsknochen	Elefantenknochen	Dentin Elefant	Elfenbein
0,17	0,18	0,22	0,25	0,23	0,23	0,21	0,10

Die Fluorwerte, die Gabriel angab, sind zu klein. Nach seinen Analysen schwankt der Fluorgehalt von Knochen und Zähnen in der Regel zwischen 0 und

gebenen entsprach. (Chem. Centralbl. 1899, II., S. 898.) Der Deckel trägt zwei ins Innere führende angelötete Röhren. Durch das seitliche, das fast bis zum Boden reichte, strömte der Sauerstoff ein; das mittlere Rohr diente dem Entweichen der Gase und außerdem zur Führung eines Platinrührers, der mittels einer kleinen Wasserturbine getrieben wurde und zum Wenden der Asche diente.

0,05 % und erreicht nur selten 0,1 %. Noch geringere Fluormengen gab Harms an, nach welchem der Fluorgehalt zwischen 0,005—0,022 % schwankt.

3. Die platten Knochen der einzelnen Tiere sind fluorärmer als die Röhrenknochen.
4. Auch in den verschiedenen Röhrenknochen scheint der Fluorgehalt nicht gleichmäfsig zu sein. Die Oberschenkel z. B. scheinen mehr Fluor als die Unterschenkel zu enthalten. Inwieweit vielleicht die Funktion des Knochens oder seine Ernährung hierbei eine Rolle spielt, mufs unentschieden bleiben.

Aus dem geringen Fluorgehalt, den Harms fand, schlofs er, dafs das Fluor nur ein accessorischer Bestandteil der Knochen, d. h. nicht zur Konstitution gehörig aufzufassen sei.

Wäre das richtig, so würde wohl zu erwarten sein, dafs die Knochen Neugeborener ärmer an Fluor sind, als die Erwachsener. Deshalb wurden Knochen neugeborener Kaninchen und neugeborener Meerschweinchen untersucht.

Es ergab sich folgendes:

	Menge der analysierten Asche	Fluorsilicium in ccm	Fluor in g	Fluor in %
Neugeborenes Kaninchen . . .	1,53	0,7	0,0023	0,15
» Meerschweinchen	1,887	1,0	0,0033	0,18

Nach diesem Befunde kann die Vermutung Harms' wohl nicht aufrecht erhalten werden. Fluor ist ein beständiger Bestandteil der Knochen und auch bei Neugeborenen in ziemlich gleichen Mengen enthalten wie bei Erwachsenen.

Da es sich im vorgehenden gezeigt hatte, dafs bezüglich Fluorgehalts in Knochen zwischen Herbivoren und Carnivoren kein Unterschied besteht, die Unterschiede vielmehr individueller Art sind, beschränkte ich mich bei den Zahnanalysen auf menschliche Zähne und Hundezähne. Die menschlichen Zähne, welche in der Anatomie Leichen im Alter von 20—30 Jahren entnommen wurden, waren völlig gesund und nicht abgenützt.

Mittlere Schneidezähne ergaben einen Gehalt von 0,26—0,32 % Fluor, Stockzähne 0,33—0,35 %. Aufserdem wurde ein ganzes Kiefer analysiert. Es ergab sich folgendes:

	Menge der analysierten Asche	Fluorsilicium in ccm	Fluor in g	Fluor in %
Schneidezähne (ganz)	3,3164	1,8	0,006	0,18
Stockzähne (Kronen)	2,905	2,7	0,0089	0,31
» (Wurzeln [1])	3,109	1,0	0,0033	0,11
Unterkieferknochen	4,5002	0,5	0,0017	0,04

Bei diesen Analysen fällt vor allem auf, dafs die Hauptmenge des Fluors sich in den Kronen befindet. Deshalb untersuchte ich den Zahnschmelz allein. Professor Port in Heidelberg isolierte mir in liebenswürdigster Weise denselben dadurch, dafs er eine Partie der oben erwähnten, in der Anatomie gesammelten, gesunden Schneidezähne sprengte und das Dentin sorgfältig aus den Schmelzschalen ausfeilte[2]). Solcher Zahnschmelz ergab einen Fluorgehalt von 0,37 %. Darnach erscheint es wahrscheinlich, dafs der Schmelz fluorreicher ist als Dentin und Cement.

Die Analyse eines ganzen Hundegebisses bestätigte im wesentlichen die gefundenen Resultate.

	Menge der analysierten Asche	Fluorsilicium in ccm	Fluor in g	Fluor in %
Schneidezähne, Wurzeln	2,122	0,3	0,001	0,04
» Kronen	2,201	0,9	0,003	0,14
Eckzähne, Wurzeln	2,50	0,2	0,007	0,03
» Kronen	2,21	0,9	0,003	0,14
Vordere Backenzähne, ganz	3,24	1,3	0,004	0,12
Hintere » »	4,015	2,5	0,008	0,27

1) Das Verhältnis, in welchem die Gewichtsmengen der analysierten Stockzahnkronen zu den Wurzeln standen, war 1 : 1,004.

2) Zu spät wurde ich auf die Methode Gabriels aufmerksam, Schmelz von Zahnbein zu trennen (Zeitschr. f. physiol. Chemie Bd. 18 S. 280). Er erhitzt »die Zähne mit Glycerin-Kalilauge. Die Extraktion der organischen Substanz war hierbei nur eine unvollkommene, genügte aber, um den Zu-

Der gröſsere Gehalt der hinteren Zähne gegenüber den vorderen könnte nach der Analyse damit zusammenhängen, daſs der Schmelz der hinteren Zähne mehr Fluor enthält als der der vorderen. Eine Schmelzanalyse ergab aber ziemlich gleiche Werte: Schmelz der Schneidezähne 0,28 %, der hinteren Zähne 0,27 %. Es kann also der Grund für den höheren Fluorgehalt der hinteren gegenüber den vorderen Zähnen nur darin liegen, daſs das Verhältnis des Schmelzes zum Dentin und Zement bei den vorderen Zähnen geringer ist als bei den hinteren.

Die Resultate der Zahnanalyse sind also:

1. Zähne enthalten mehr Fluor und Knochen und zwar ist es der Schmelz, welcher dieses Mehr bedingt.
2. Der Fluorgehalt nimmt von den vorderen Zähnen zu den hinteren zu.

Von Interesse schien es mir zu sein, eine Bestimmung zu machen, ob sich in Zahnkeimen ebenfalls Fluor in gröſserer Menge vorfindet. Zu diesem Zwecke verschaffte ich mir Hunde mit ersten Zähnen, bei denen aber der zweite Zahn bereits angelegt war. Der Kiefer der getöteten Hunde wurde gesprengt und die neuen Zahnanlagen herauspräpariert. Auſser in diesen Zahnanlagen wurde das Fluor auch im Kiefer bestimmt.

Vier Hunde, deren Zahnkeime noch gering entwickelt waren, lieferten folgende Werte:

	Menge der analysierten Asche	Fluorsilicium in ccm	Fluor in g	Fluor in %
Zahnkeime	4,275	1,9	0,0068	0,15
Unterkiefer	5,426	1,1	0,0037	0,07

---

sammenhang beider Gewebsarten derart zu lockern, daſs sie sich entweder selbstthätig voneinander ablösten oder vermittelst eines Messers leicht und quantitativ voneinander getrennt werden konnten«.

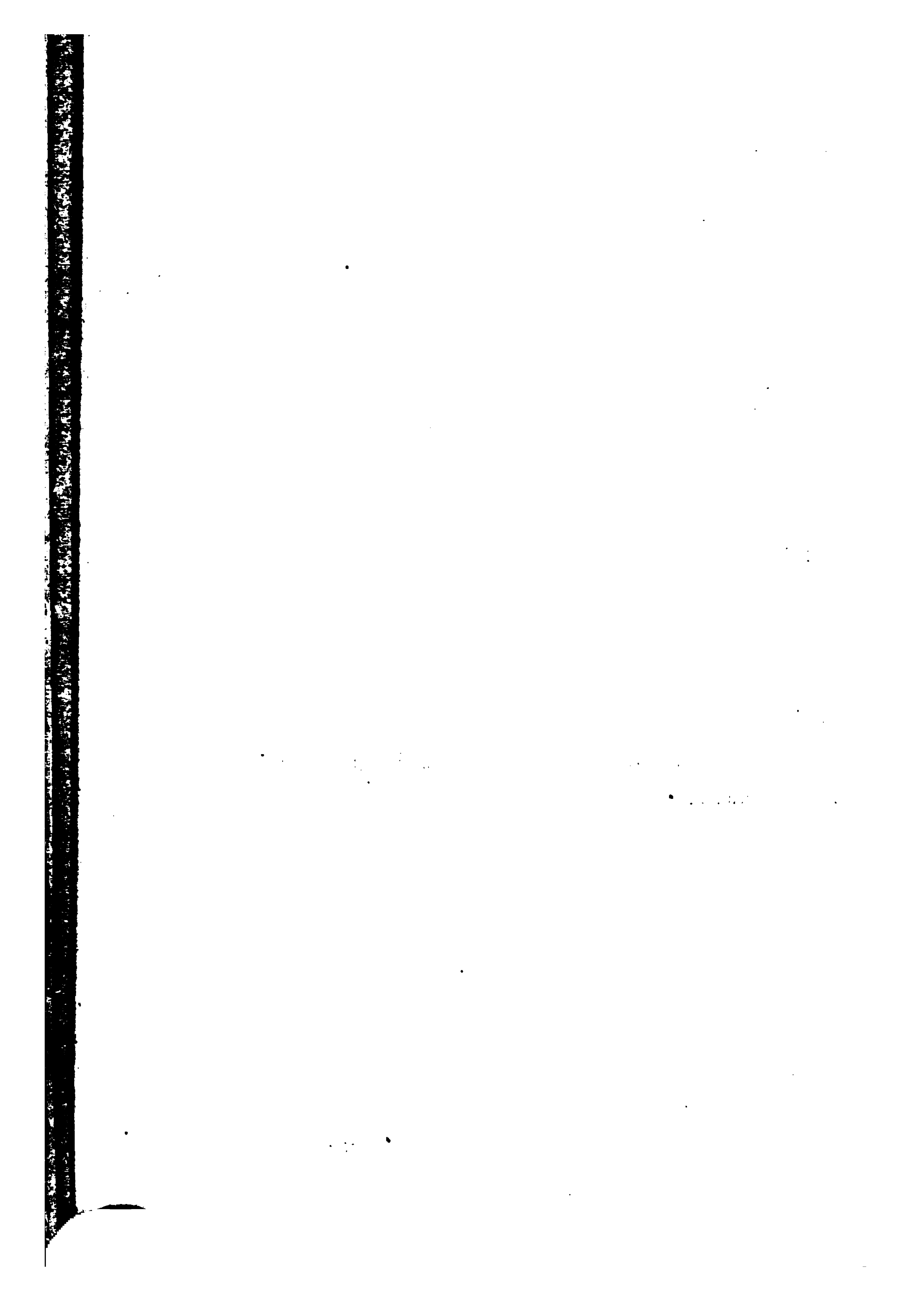
Mehrere Hunde, bei denen die Anlage der zweiten Zähne weiter vorgeschritten war, ergaben:

	Menge der analysierten Asche	Fluor-silicium in ccm	Fluor in g	Fluor in %
Zahnkeime	5,01	7,8	0,0241	0,48
Unterkiefer	6,889	0,2	0,0007	0,01
1. Zähne	3,462	1,1	0,0037	0,11

Die Zahnkeime enthalten also mehr Fluor als die ersten Zähne; aufserdem fällt der sehr geringe Fluorgehalt der Unterkiefer in diesem Entwicklungsstadium auf und es macht den Eindruck, als würde dem Unterkiefer zu dieser Zeit zu Gunsten der Zahnanlage Fluor entzogen werden.

Eine dritte bald folgende Mitteilung wird einige neue Knochen- und Zahnbefunde umfassen bei Hunden und Kaninchen, welche längere Zeit mit Fluornatrium gefüttert wurden und die von Brandl und v. Tappeiner beschriebene Fluoranhäufung im Knochen zeigten.

Die Literatur hat Harms in dieser Zeitschrift Bd. 38 S. 496 zusammengestellt.



Studien über den Tonus.

I.

Der biologische Bauplan von Sipunculus nudus.

Von

J. v. Uexküll, Neapel.

(Mit Tafel VI.)

Einleitung.

Biologie ist die Lehre von der Organisation des Lebendigen. Unter Organisation versteht man den Zusammenschlufs verschiedenartiger Elemente nach einheitlichem Plane zu gemeinsamer Wirkung. So ist es die Aufgabe der Biologie, in jedem lebenden Gebilde nach dem Plane seines Aufbaues und den Elementen, die ihm zum Aufbau dienen, zu forschen.

Es hat sich herausgestellt, dafs für eine grofse Anzahl von Lebewesen die biologischen Elemente die gleichen sind und nur der Plan ihres Aufbaues wechselt. So zeigen alle vielzelligen Tiere[1]) in ihrem Organismus, soweit er den animalen Funktionen dient, gleichartige lebendige Bausteine, deren vielgestaltiger Aufbau die reiche Fülle ihrer Erscheinungen zeitigt. Die biologischen Elemente teilen sich in reizaufnehmende, reizleitende, reizverteilende und Bewegungselemente. Sie lassen sich in ein allgemeines

1) Auch für die einzelligen besteht nach den bahnbrechenden Untersuchungen von Jennings die Aussicht, sie dem allgemeinen Schema anzugliedern.

Schema bringen, das ihre gegenseitige Abhängigkeit klar erkennen läfst.

Die reizaufnehmenden Elemente sind den Wirkungen der Aufsenwelt ausgesetzt. Der Reiz wird darauf den reizleitenden übertragen, von dort aus gelangt er zu den reizverteilenden Elementen, die ihm wiederum an reizleitende abgeben, bis er schliefslich die Bewegungselemente in Thätigkeit setzt, welche die Gegenwirkung des Organismus der Aufsenwelt gegenüber ausüben.

Nach diesem Schema ist der Bauplan für jedes Tier ausgeführt. Der Plan selbst mufs, damit der Organismus lebensfähig und fortpflanzungsfähig bleibe, aufserdem folgenden allgemeinen Anforderungen gerecht werden. Es müssen erstens diejenigen reizaufnehmenden Elemente vorhanden sein, die nur jene Veränderungen der Aufsenwelt als Reize verwerten, welche für den speciellen Organismus von Wichtigkeit sind. Ferner haben die reizempfangenden Elemente die Aufgabe, die wichtigen Reize in einer der Organisation entsprechenden Weise bestimmten reizleitenden Elementen und in bestimmter Stärke zu übermitteln. Die reizverteilenden Organe müssen die Reize, die ihnen bereits in bestimmten Bahnen und in abgewogener Intensität zukommen, derart weiterverteilen, dafs sie in entsprechender Ordnung zu denjenigen Bewegungselementen gelangen, deren Bewegungsfolgen der Existenz des Gesamtorganismus förderlich sind.

Für die Biologie ist eine jede Lösung des Organisationsproblems von der gleichen Wichtigkeit; deshalb ist für sie jedes Tier gleich interessant. Aber nicht jodes Tier ist für die biologische Analyse gleich geeignet und der experimentellen Forschung in gleichem Mafse zugängig.

Solange die einzelnen Elemente der Organisation noch nicht bekannt sind, wird alles darauf ankommen, uns nach solchen Organismen umzusehen, die uns über diese Fundamente unserer Anschauung die beste Aufklärung verschaffen. Der Angelpunkt des Interesses liegt bei den ganz unbekannten reizverteilenden Organen, weil wir ohne eine Vorstellung ihrer Leistungen an die Aufstellung des Organisationsplanes gar nicht denken können.

Deshalb war es mein Hauptbestreben, an den Tieren, deren centrale Verbindungen noch einfach sind, durch fortgesetzte Versuche einen greifbaren Kern herauszuschälen, der es mir erlaubte, eine feste Vorstellung eines Centrums zu gewinnen.

Es stellt sich dabei heraus, dafs, solange wir uns von der Form, unter der die Aufsenreize im Nervensystem weitergeleitet werden, kein anschauliches Bild zu machen vermögen, jede Hoffnung auf ein Verständnis der reizverteilenden Centren aufgegeben werden mufs. Solange wir unter Erregung blofs eine Zustandsänderung verstehen, ist der Spielraum für die Vorstellung eines Organs, das eine Zustandsänderung verändert, so grofs, dafs man zu keiner festen Form gelangen kann.

Der Erregung selbst müssen wir deshalb vor allem zu Leibe gehen. Dann enthüllt sie uns plötzlich Eigenschaften, die ihr einen durchaus greifbaren Charakter verleihen, und dann ist es auch möglich, sich ein Bild zu machen von den Apparaten, welche die substantiell gewordene Erregung, die ich Tonus nenne, verarbeiten.

Deshalb stelle ich den Tonus in den Mittelpunkt zweier sich folgender Arbeiten über den Sipunculus nudus und über die Schlangensterne.

Ich beginne mit dem Bauplan von Sipunculus nudus, dessen geradezu wunderbare Eigenschaften als Experimentaltier uns den unmittelbarsten Einblick in den Tonus und die Centrenfunktionen gewähren. Diesen Eigenschaften zuliebe gebe ich es preis, vom Einfacheren zum Komplizierteren überzugehen. Denn die Schlangensterne stehen in ihrem centralen Aufbau den bereits bearbeiteten See-Igeln aufserordentlich viel näher als Sipunculus.

Wenn man für die wachsende Komplikation im Aufbau der Centren dieser drei Tierarten nach einem passenden Vergleiche suchen wollte, so dürfte man sagen: Die See-Igel gleichen einer Bauernrepublik, in der die Vertreter der Wähler noch draufsen auf dem Dorfe leben (denn ein jedes Centrum sitzt noch seinem Muskel auf), bei den Schlangensternen sind die Vertreter bereits in eine Kammer berufen, haben aber daselbst alle die gleiche

Funktion (die gleichartigen Centren befinden sich in dem centralen Nervenband der Arme), bei Sipunculus sind innerhalb der Kammer schon Gruppenbildungen entstanden, die verschiedene Funktionen haben. Natürlich darf man dieses Beispiel nicht zu sehr pressen, aber es gibt doch die Richtung an, in der sich die ansteigende Komplikation der Centren bewegt,

Über die anatomischen Verhältnisse habe ich in meiner ersten Arbeit[1]) über Sipunculus das Nötige gesagt. Hier sei nur an die allgemeinen Verhältnisse erinnert[2]), die Einzelheiten werden an geeigneter Stelle nachgetragen. Sipunculus ist ein muskulöser Schlauch, in dem ein Darm frei aufgehängt ist. Seine Leibeshöhle ist zugleich sein Blutreservoir. Der Hautmuskelschlauch besteht aus rechtwinklig sich kreuzenden Längs- und Ringmuskelbändern, die ein regelmäſsiges Gitterwerk bilden, das nur am Vorderende verschwimmt. Die dünnen Schrägmuskelbänder spielen nur eine sekundäre Rolle. Das Vorderende des Muskelsackes kann durch vier breite Retraktoren (die den Mund umfassen und hinter dem ersten Drittel des Tieres an der Leibeswand den zweiten Ansatzpunkt finden), eingestülpt werden, und heiſst deshalb der Rüssel. Eine 2 mm lange, sehr dünne glatte Muskelfaser ist das durchgehend angewandte Grundelement der Muskulatur. Das Gehirn liegt dorsal dem Schlund auf und besteht aus zwei vom Blutfarbstoff rotgefärbten verschmolzenen Kugeln; es nimmt die Nerven der Tentakel auf, die den Mund umkränzen. Zwei Kommissuren, die weitmaschig den Darm umfassen, verbinden das Gehirn mit dem Bauchstrang, der als rötlich gefärbtes Band bis ans Hinterende des Tieres zieht, um hier mit der Schwanzanschwellung zu endigen. Solange der Bauchstrang im Rüssel verläuft, heiſst er der freie Bauchstrang, weil er bloſs durch lange Nerven mit der Hauptmuskulatur verbunden ist und frei im Lumen flottiert. Späterhin heiſst er der verwachsene Bauchstrang, weil er mit dem gröſsten Teile des Hautmuskelschlauchs durch zahlreiche kurze, paarweis abgehende Nerven verbunden ist, deren Abstände sich fast immer mit den Abständen der Ringmuskeln decken. Die nervösen Elemente des

1) Uexküll (13). 2) Vgl. Taf. VI Fig. 1.

Bauchstranges stecken in einer mächtigen Bindegewebshülle, die von besonderen Muskelstreifen getragen wird. Daher stammt ihre grofse Widerstandsfähigkeit gegen Zerrung. Man kann den Bauchstrang mit einem Ruck von seiner Unterlage abreifsen, wobei alle Seitennerven zerrissen werden, ohne ihn wesentlich zu alterieren. Die vier Retraktoren erhalten ihre nervöse Versorgung durch Seitennerven der Kommissuren.

Das Normalpräparat des Sipunculus wird aus einem lebenskräftigen Tiere gewonnen, das, in eine Schale mit Seewasser gesetzt, lebhaft seinen Rüssel aus- und einstülpt. Man fasse es zart an und schneide es unter Wasser schnell von hinten nach vorne in der Dorsallinie auf, reifse, von hinten beginnend, den Darm heraus und schneide nur seine Verbindungsfäden zu den vier Retraktoren sorgfältig durch. Nahe dem Vorderende wird der Darm quer durchschnitten.

Ist der Hautmuskelschlauch, dessen Rüssel immer eingezogen ist, derart gereinigt, so spiefst man erst eine starke Nadel in der Mittellinie durch den umgeschlagenen basalen Rand des Rüssels durch und sticht sie tief in das Wachs der Präparierschale hinein. Es darf an dieser Stelle nur eine Nadel und zwar in der Mittellinie des Tieres eingestofsen werden, weil jeder seitlich angebrachte Reiz an dieser Stelle die Bewegungen stört.

An der Retraktorenbasis kommen links und rechts eine Nadel und ebenso am Hinterende des Tieres wiederum zwei Nadeln. Hat man dieses Verfahren angewandt, so kann man sicher sein, dafs nach kurzer Zeit der Wurm seine Bohrbewegungen wieder aufnehmen wird, die völlig den normalen gleichen, nur wird der Rüssel nicht mehr umgestülpt, da jetzt der innere Druck der Blutflüssigkeit fehlt. Aber er wird abwechselnd lang und kurz wie vorher.

Im Sipunculus sind animale und vegetative Funktionen reinlich voneinander geschieden, so dafs man fast sagen darf, ein Frefstier sitze in einem Bewegungstier drin. Nur müssen die beiden Tiere insoweit aufeinander Rücksicht nehmen, dafs entweder gefressen oder gekrochen wird, nicht aber beides zusammen.

Einzig die Tentakel sind beiden Tieren gemeinsam, sonst fehlt ihnen jede anatomische Verbindung. Aber auch für die Tentakel ist die Trennung physiologisch durchgeführt. Die Tentakel dienen dem Frefstier zum Ergreifen der Sandkörner, die sie durch Bewegungen und Wimperung in den Schlund befördern. Auf chemischen Reiz sind sie dabei sehr sensibel.

Dem Bewegungstier dienen die Tentakel als Tangorezeptionsorgane, die sehr wichtig sind, da sie ganz vorne am Körper liegen. Damit nun die chemischen Reize, deren das Frefstier bei der Nahrungswahl bedarf, nicht jedesmal das Bewegungstier beunruhigen, ist die Einrichtung getroffen, dafs nur mechanische Reize von den Tentakeln nach dem Hirn weitergeleitet werden und von hier aus eine energische Retraktorenverkürzung hervorrufen. Chemische Reize hingegen bleiben ganz ohne Wirkung.

Man kann einen Salzkristall ruhig auf die Tentakel legen, die dadurch zu heftigen Bewegungen veranlafst werden, ohne befürchten zu müssen, dafs die Retraktoren sich rühren werden. Ein kleiner Druck auf die Tentakel aber genügt, um die Retraktoren zusammenfahren zu lassen. Nur mufs man bei diesem Versuch mit der chemischen Reizung etwas vorsichtig verfahren, weil die ganze übrige Haut des Tieres ungemein empfindlich ist. Sowie eine Spur der reizenden Substanz etwas zu weit nach hinten dringt, wird sofort eine Retraktorenkontraktion ausgelöst.

Wir haben es hier nur mit dem Bewegungstier, das durch Hirn, Bauchstrang, Hautmuskulatur und Retraktoren repräsentiert wird, zu thun. Die normalen Bewegungen des Tieres sind nur wenig zahlreich. Eigentlich sind es nur drei Bewegungstypen, die in Frage kommen: das Bohren, das Schwimmen und das Umdrehen. Das Bohren steht dabei an Wichtigkeit und Häufigkeit derart im Vordergrunde, dafs wir uns fast ausschliefslich mit ihm zu beschäftigen haben. Von dem Standpunkte aus, dafs die Hauptthätigkeit des Sipunculus nudus das Bohren ist und er alle Eigenschaften einer hydraulischen Bohrmaschine[1]) zeigt, be-

1) **Andrews** (1) schreibt hierüber folgendes: »The essential factors in the mechanism bringing about this hydrostatic locomotion are an elongated, contractile sac filled with liquid, and some means of definitely coordinating

nenne ich seine äufseren Körperabteilungen wie folgt. Ganz vorne sitzen, wie wir wissen, die Tentakel, dann kommt der Stempel, dann der Rüssel, dann der erste Ballon, dann der Griff und schliefslich der zweite Ballon (vgl. Fig. 1).

Der Bohrakt beginnt mit einer Kontraktion der Muskeln am Griff, dem bald der hintere Ballon folgt. Der Druck im Innern steigt schnell an, da auch der vordere Ballon in Kontraktion gerät. Die Retraktoren und Längsmuskeln des Rüssels erschlaffen, die Ringmuskeln des Rüssels fangen, von hinten nach vorne fortschreitend. an sich zu kontrahieren (was man beim aufgeschnittenen Tier aufs schönste beobachten kann), und der Rüssel wird kräftig in den Sand vorgestofsen. Dann bildet sich vorne der Stempel aus. Es bietet zusammen mit den Zähnchen der Rüsselhaut den Hauptstützpunkt für das Tier. Jetzt verkürzen sich die Längsmuskeln des Rüssels und die Retraktoren gemeinschaftlich und ziehen dadurch den übrigen Körper nach vorne. Dann erschlafft der Hautmuskelschlauch, der Binnendruck fällt bis auf Null, der Stempel verschwindet und die Retraktoren rollen den Rüssel nach innen.

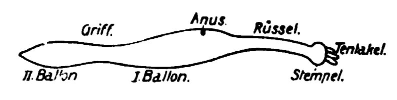


Fig. 1.

Es ist sehr leicht festzustellen, wie grofs die Rolle ist, die der innere Blutdruck bei den Bohrbewegungen spielt. Man braucht nur das Tier in der hinteren Hälfte seines Bauchstranges zu berauben, worauf die zugehörige Muskulatur erschlafft, um den Erfolg der Bohrbewegungen des Vordertieres illusorisch zu machen. Da jetzt der Druck das Hinterteil dehnt und nicht mehr genügt, um den Rüssel die nötige Festigkeit zu verleihen, den Sand zu durchbohren.

Schneidet man einem solchen Tier die gelähmte hintere Partie weg und verschliefst das Vordertier mit einem Gummipfropfen, so wird man den halben Wurm in wenigen Minuten unter dem Sande verschwinden sehen.

---

the contraction of the sac.« Und kurz vorher: »The swelling of the anterior end of the introvert (Rüssel) is brought about by the body wall contraction else where and forcing the liquid to distend that end.«

Wenn die Bohrbewegungen bei mangelndem Binnendruck auch nicht mehr ihren Zweck erfüllen, so bleiben sie nichtsdestoweniger bestehen, und am aufgeschnittenen und aufgespiefsten Tier kann man sie noch stundenlang beobachten. Die einzigen Glieder in der Kette der verschiedenen Bewegungen, die dabei ausfallen, sind die Umstülpung des Rüssels und die Bildung des Stempels, welche allein durch Dehnung der dünnen Hautpartie nahe dem vorderen Rüsselende entsteht. Sonst bleibt die Bewegungsfolge die gleiche trotz aller störenden äufseren Eingriffe.

Wie ein Froschherz unbekümmert weiter schlägt, auch wenn es blutleer und vom Tier isoliert ist, so bohrt der Hautmuskelschlauch des Sipunculus weiter, obwohl er blutleer, aufgeschnitten und aufgespiefst daliegt. Aber während die Herzcentren unseren Augen verborgen an unbekannter Stätte ihre regulatorische Arbeit vollführen, liegt bei Sipunculus das Centralnervensystem frei vor uns, geradezu zum Experiment herausfordernd.

Es läuft also die ganze Aufgabe, die wir uns hier gestellt haben, auf die Frage hinaus, welche Vorgänge spielen sich während des Bohrens in den Centralorganen von Sipunculus ab? Damit hängt die Frage nach seinem ganzen biologischen Bauplan aufs innigste zusammen. Wir werden daher auch Muskeln und Nerven in ihrer Eigenschaft als biologische Bausteine werten müssen, wobei wir altbekannte Dinge von einer neuen Seite betrachten werden. Dadurch erhält die ganze Arbeit einen etwas doktrinären Anstrich, den man ihr zu gute halten möge, da es sich hier um die Grundlagen der Biologie handelt.

Die Ableitung des Tonusschemas.

Alle Handlungen sind kombinierte Bewegungen. Alle Bewegungen sind kombinierte Muskelkontraktionen. Das Element, das alle Handlungen vollbringt, ist die Muskelfaser. Um in allen erforderlichen Kombinationen thätig sein zu können, bedarf die einzelne Muskelfaser eines hohen Grades von Selbständigkeit. Wie in einem Klavier die Möglichkeit der Erzeugung zahlreicher Kombinationen von Tönen darauf beruht, dafs die einzelnen Saiten in völliger Unabhängigkeit voneinander angeordnet sind

und jede einzelne für sich allein angeschlagen werden kann, so beruht im tierischen Körper die Erzeugung zahlreicher, verschieden kombinierter Bewegungen auf der Unabhängigkeit der einzelnen Muskelelemente und auf der isolierten Nervenleitung.

Es ist auch niemals die Unabhängigkeit der Muskelfasern im Skelettmuskel der Wirbeltiere ernsthaft bestritten worden. Eingehende Versuche von Kühne und Biedermann haben gezeigt, unter welchen anormalen Bedingungen diese Unabhängigkeit der Fasern voneinander aufhört. Das geschieht bei der Quetschung und beim Austrocknen, also in Fällen, in denen ein starker Demarkationsstrom auftritt, dessen Schwankungen zur Reizerzeugung durchaus zureichend sind.

Im normalen quergestreiften Skelettmuskel der Wirbeltiere pflanzt sich die Erregung niemals von Faser zu Faser fort. Jede einzelne Faser mufs von ihrem Nerven aus erregt werden, sonst spielt sie nicht mit.

Diese Selbständigkeit der einzelnen muskulösen Elemente, mögen sie gestreift oder glatt sein, werden wir notgedrungen für die gesamte Bewegungsmuskulatur in der ganzen Tierreihe zu fordern haben, d. h. überall dort, wo die einzelnen Elemente in verschiedenen Kombinationen gebraucht werden.

Von diesem Gesichtspunkte aus betrachtet, befindet sich die Eingeweidemuskulatur der Tiere in einer Ausnahmestellung. Bei ihr fällt die mehr oder minder reiche Kombination der Einzelelemente fort, es wird nur eine einzige Bewegungsfolge von ihr gefordert — auf diesem Klavier wird nur eine einzige Melodie gespielt.

Auch kann man darauf hinweisen, dafs in der Buchdruckerpresse die einzelnen Lettern gern dauernd miteinander verbunden werden, wenn bestimmte Worte sich häufig wiederholen müssen, während die Selbständigkeit der einzelnen Lettern so lange ein Erfordernis war, als sie in verschiedenen Kombinationen auftreten sollten.

Aber die Gegenüberstellung der beiden Muskelgruppen bleibt nur, so lange man sie in grofsen Zügen behandelt, beweiskräftig. Bei vielen niederen Tieren ist die Eingeweidemuskulatur genau so wechselnd in ihren Bewegungen wie die Stammes-

muskulatur, und in der Stammesmuskulatur wird nur ausnahmsweise die einzelne Muskelfaser zu einer isolierten Arbeit herangezogen. Meist sind es schon ganze Muskelfasergruppen, die die Elemente der Bewegungen abgeben und die Kombinationen der wechselnden Bewegungen spielen sich unter den verschiedenen Muskeln ab, selten innerhalb des gleichen Muskels.

So sind wir in letzter Linie auf das Experiment angewiesen, um sowohl für die Stammes-, wie für die Eingeweidemuskulatur die Frage nach der Isolierung der Erregung auf die einzelne Muskelfaser zu beantworten. Und da zeigt es sich, dafs in allen Fällen, in denen es gelingt, die Muskeln direkt mit Ausschlufs ihres Nerven zu reizen, die Erregung niemals von einer Faser auf die andere übergleitet.

Trotzdem beherrscht noch heutzutage die Lehre von der Reizübertragung von Muskelfaser auf Muskelfaser die ganze Physiologie der glatten Muskulatur, welche immer noch — gleichgültig, ob sie zur Eingeweide- oder Stammesmuskulatur gehört — der quergestreiften gegenübergestellt wird.

Die Vertreter dieser Lehre berufen sich dabei immer wieder auf Engelmann[1]), der nachgewiesen habe, dafs der Ureter sich in seinen Bewegungen benähme wie eine einzige kolossale hohle Muskelfaser.

Es ist gewifs ein Verdienst, einen knappen präcisen Ausdruck für einen Vorgang zu finden, wie Engelmann hier gethan. Das Verdienst würde jedoch sehr geschmälert, wenn der Ausdruck sich mit dem Vorgange nicht decken sollte.

Die Probe darauf kann nur dadurch geliefert werden, dafs ein Lehrer seinen Schüler, der über die Muskelbewegungen im allgemeinen wohlunterrichtet ist, auffordert, nach den Worten von Engelmann sich eine Vorstellung über den Ablauf der Kontraktion am Ureter, die er noch nicht gesehen hat, zu machen.

»Der Ureter kontrahiert sich wie eine einzige Muskelfaser«. Danach wird der Schüler vorab annehmen, dafs der Ureter sich in seiner ganzen Länge gleichmäfsig kontrahiert. »Nein«, wird

1) Engelmann (3).

ihm der Lehrer sagen: »Er benimmt sich darin wie eine absterbende Muskelfaser, in der die Kontraktion sich langsam über den Muskel hin fortsetzt. Wie sieht diese aus?« Angenommen, Fig. *A* zeige den Längsschnitt durch ein Ureterstück, so wird der Schüler die auftretende Kontraktion aufzeichnen wie in Fig. *B*. »Nein,« wird der Lehrer sagen, »in jeder Muskelfaser wird wohl die Verdickung bei der Kontraktion senkrecht zur Längsrichtung des Muskels auftreten. Hier ist es umgekehrt.« Darauf wird der Schüler Fig. *C* hinzeichnen. »Nein,« wird der Lehrer sagen, »es tritt eine ringförmige Einschnürung auf, die nach innen vorspringt und das Lumen des Kanals völlig schliefst wie Fig. *D*«. Darauf wird der Schüler antworten: »Das kann

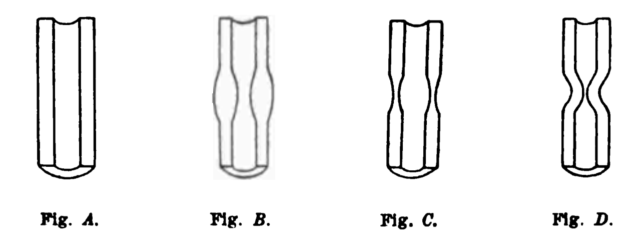


Fig. *A*. Fig. *B*. Fig. *C*. Fig. *D*.

nur geschehen, wenn eine Reihe von Ringmuskeln, die hintereinander liegen, sich einzeln und nacheinander kontrahieren.«

Und so ist es auch in der That. Der Ureter besteht im wesentlichen aus einer Schicht von Ringmuskeln, die nacheinander in Aktion treten. Dafs sich aus dieser selbstverständlichen Thatsache, die sich völlig mit der isolierten Erregung der einzelnen Muskelfasern vom Nerven aus deckt, die Lehre der Reizübertragung von Muskelfaser auf Muskelfaser hat aufbauen und dreifsig Jahre lang behaupten können, wird für den Fernerstehenden immer ein Rätsel bleiben.

Doch glaube ich nicht, dafs es notwendig ist, so schweres Geschütz gegen diese Lehre aufzufahren, wie es Cyon gethan hat. Die Physiologen werden sich, wenn sie sich einmal mit den niederen Tieren vertraut gemacht haben, durch die Thatsachen früher oder später überzeugen lassen müssen. Man kann daher das Ende der Lehre von der Reizübertragung von Muskel-

faser auf Muskelfaser ruhig abwarten. Es ist blofs eine Frage der Zeit.

Wir selbst freilich brauchen nicht so lange zu warten, und können schon jetzt feststellen, dafs jede Muskelfaser ein selbständiges Endorgan ist und nur durch die eigene Nervenfaser zur Erregung gebracht wird.

Durch die Aufstellung dieser These sehen wir uns plötzlich einer grofsen Schwierigkeit gegenüber, die nach der bisherigen Auffassung nicht vorhanden war. Die Muskelfasern in einem Muskel befinden sich gruppenweise, mag der Muskel selbst in Ruhe oder Thätigkeit sein, immer im gleichen Thätigkeits- resp. Ruhezustande. Dieses war, so lange man die Übertragung der Erregung von Muskelfaser zu Muskelfaser annahm, ein fast selbstverständliches Postulat. Die aufserordentlich feine Regulierung, die wir in allen rhythmisch arbeitenden Gebilden kennen, konnte von den Muskeln selbst ausgehen und bedurfte keiner speciellen Einrichtung. Jetzt, da die Thatsachen uns dazu zwingen, anzunehmen, dafs jede Muskelfaser für die Erregung eine Sackgasse bildet, aus der sie nicht herauskann, um auf die Nachbarfaser überzutreten und derart ausgleichend zu wirken, müssen wir nach speciellen Regulierungsvorrichtungen ausschauen. Eine jede Muskelfaser hat mit ihrer Nachbarin nur das gemein, dafs sie beide am gleichen Strange ziehen. Woher kommt es, dafs sie beide gleichzeitig und gleich stark am gemeinschaftlichen Strange ziehen?

Die nächste Aushilfe liegt darin, anzunehmen, dafs die Erregung, die in der Faser angelangt ist und nicht weiter kann, in den Nerven zurücktritt und von hier aus auf die Nachbarfaser einwirkt.

Wenn wir uns über die Beziehungen vom Nerv zum Muskel unterrichten wollen, so werden wir immer wieder auf die klassischen Versuche Kühnes zurückgreifen, die uns das feste Thatsachenmaterial geliefert haben, auf dem wir weiter bauen können.

Als Ausgangspunkt benutzte ich den Zweizipfelversuch am Sartorius. Er diente bekanntlich dazu, um die direkte Muskel-

irritabilität zu beweisen. So lange man in der nervenfreien Zone bei *R* reizt (Fig. 5), kontrahieren sich blofs die direkt gereizten Muskelfasern der einen Hälfte. Sobald man hingegen die Elektroden in die nervenhaltige Partie R^1 bringt, zieht sich der ganze Muskel zusammen Hierdurch wird zugleich bewiesen, dafs es eine rückläufige Erregungsleitung im Nerven gibt.

Für uns kommt es aber darauf an, zwei andere Thatsachen aus dem Versuche herauszulösen. Erstens die Unübertragbarkeit der Erregung von einer Muskelfaser zur anderen und zweitens

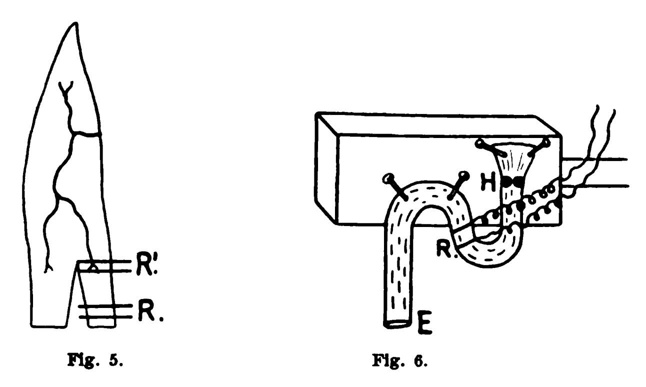


Fig. 5. Fig. 6.

die Unübertragbarkeit der Erregung von der Muskelfaser auf den Nerven. Beide Thatsachen werden dadurch bewiesen, dafs die Erregung auf die direkt gereizte Muskelfaser beschränkt bleibt, so lange die Nerven nicht direkt miterregt wurden.

Als Parallelversuch setze ich einen von mir[1]) publizierten Versuch am Retraktor des Sipunculus her (Fig. 6). Der Versuch zeigt, dafs man den Muskel bei *R* lokal tetanisieren kann und trotzdem eine neue Erregung durch den tetanisierten Teil hindurchschicken kann, denn ein leichter Schlag auf das Gehirn bei *H* bringt selbst das freie Ende bei *E*, das jenseits der tetanisierten Stelle liegt, zur Kontraktion. Dieser Versuch war angestellt, um die völlige Unerregbarkeit der intramuskulären Nervenfasern für den elektrischen Strom zu zeigen. Er beweist aber ferner, erstens, dafs die Erregung von den tetanisierten Muskelfasern nicht auf die Nachbarfasern übergreift, und

1) Uexküll (13).

zweitens, dafs die Erregung von den Muskelfasern auf die Nerven nicht übergeht.

Sowohl quergestreifte wie glatte Muskeln gestatten uns nicht, eine Regulierung ihres Erregungszustandes durch einfache Rückübertragung der Erregung auf den Nerven anzunehmen.

Bevor wir zur Annahme übergehen, dafs es keine Regulierung der Muskelerregbarkeit vom Nerven aus gibt und uns mit einer specifischen Fähigkeit der Muskelfaser sich von selbst wieder alle Zeit richtig einzustellen, beruhigen, lohnt es sich doch, dem Begriff der Erregung näher zu treten, mit dem wir bisher wie mit einer bekannten Gröfse gearbeitet haben.

Seitdem es sich herausgestellt hat, dafs weder beliebige, direkt angewandte Muskelreize, noch die Vorgänge im Nerven im stande sind, durch blofse Energieumwandlung die vom Muskel vollzogene Arbeit zu leisten, ist man gewohnt, die im Muskel auftretende Erregung als ein selbständiges Produkt der Muskelfaser zu betrachten. Wir bezeichnen mit Erregung eine auf direkten oder indirekten Reiz hin im Muskel auftretende Zustandsänderung, die auf unbekanntem Wege die mechanische Arbeitsleistung verursacht. Deshalb halten wir uns für berechtigt, in der Arbeitsleistung ein direktes Mafs der Erregung zu erblicken. Und da die Arbeitsleistung des Muskels in einer Verkürzung besteht, die sich bei der isotonischen Schreibung als Verkürzungskurve kundgibt, so besitzen wir in der Verkürzungskurve ein Mafs für den jeweiligen Erregungszustand des Muskels. Ferner besitzen wir in der isometrischen Schreibung ein Mittel, die Spannung des Muskels zu messen, und ebenso, wie die Verkürzungskurve, darf die Spannungskurve als Mafs für die Erregung des Muskels dienen.

Bisher durften wir, gestützt auf eine so unbestrittene Autorität wie Adolf Fick, die beiden Mafse, die uns Verkürzungs- und Spannungskurven bieten, promiscue brauchen. Fick schreibt in seinem klassischen Buch über mechanische Arbeit und Wärmeentwicklung bei der Muskelthätigkeit[1]) auf Seite 14: »Der elastische Strang, den der Muskel dar-

1) Fick (4).

stellt, verwandelt sich unter dem Einflusse des Reizes, wenn jede sekundäre Veränderung verhindert ist, in einen elastischen Strang von gröſserer Spannung, oder, da die Anfangsspannung äuſserst geringfügig war, können wir sagen, der ungespannte verwandelt sich in einen gespannten elastischen Strang.«

Wird der Muskel an der Verkürzung nicht verhindert, so leistet die Spannung Verkürzungsarbeit, und zwar entspricht jeder Spannungswert einem bestimmten Längenwerte.

Auf einen bestimmten Fall bezogen, äuſsert sich Fick auf Seite 16 hierüber folgendermaſsen: »Es folgt hieraus, daſs der Muskel im erregten Zustand für alle zwischen 54 mm und 32 mm liegenden Längenwerte zwischen 1600 und 5 g gelegene Spannungswerte haben wird, die nach einem bestimmten Gesetze mit den Längenwerten zusammenhängen.«

Es geht daraus hervor, daſs wir die Spannung als das eigentliche Agens zu betrachten haben, deren notwendige Folge die Verkürzung ist.

In seinen myographischen Versuchen an lebenden Menschen[1]) spricht Fick dieses noch einmal ganz deutlich aus. »Offenbar hat die Untersuchung des isometrischen Muskelaktes und eine Vergleichung mit dem isotonischen schon an sich ein theoretisches Interesse, um so mehr, als er eigentlich der allereinfachste elementarste ist, sofern ja die Änderung der Spannung das Ursprüngliche, die Änderung der Länge erst die Folge davon ist.«

Die Hauptangriffe, welche die Lehre Ficks erfahren hat, beziehen sich auf die Frage nach der Berechtigung, die Muskelkräfte mit elastischen Kräften zu vergleichen. Der Glaube an einen Zusammenhang von Spannung und Verkürzung des Muskels wurde aber nicht erschüttert.

Zwar war die Übereinstimmung der isotonischen und isometrischen Kurven durchaus nicht genügend, um beide für identisch zu halten. Es gab aber in der Hebelschleuderung und ähnlichen Störungen Gründe genug, um sich die Abweichungen der Kurven zu erklären.

---

1) Fick (5).

So fest war auch ich[1]) von der Abhängigkeit der Verkürzung von der Spannung überzeugt, dafs selbst die ungeheuren Differenzen der isometrischen und isotonischen Kurven der Sipunculusrektratoren mich in diesem Glauben nicht erschütterten. Nachdem es sich gezeigt, dafs der Muskel auf den gleichen Reiz hin eine Verkürzungskurve schrieb, die oft dreimal so lang war wie die Spannungskurve, weigerte ich mich, anzunehmen, dafs die einzelne Faser verkürzt bleiben könne, ohne Spannung zu besitzen, und verfiel auf den Ausweg, aufser der Verkürzung der einzelnen Fasern noch eine Verschiebung der Fasern gegeneinander anzunehmen, die uns eine echte Verkürzung vortäuscht.

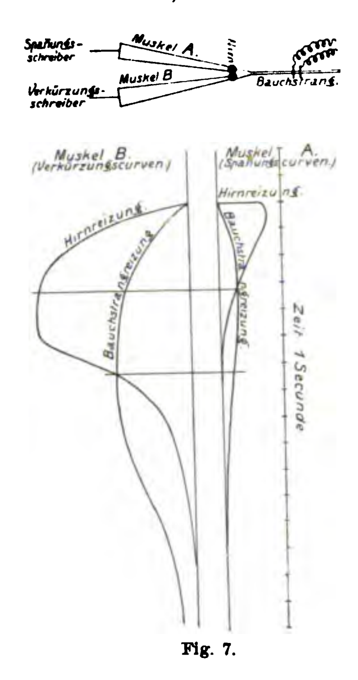


Fig. 7.

Ich habe mich jetzt überzeugt, dafs dieser Ausweg nicht gangbar ist. Man hänge einen im Normaltonus befindlichen Retraktor in Seewasser auf, so wird er durch das geringste Übergewicht ad maximum gedehnt werden. Versucht man, ihn mit der Pincette zu dehnen, so überzeugt man sich, dafs er dem Zug keinerlei Widerstand entgegensetzt. Läfst man ihn wieder frei und hebt das Gewicht ab, so kehrt er nach einer Weile ganz langsam zu seiner alten Länge zurück

Es handelt sich also nicht um eine Umlagerung der Elemente, die bei der widerstandslosen Dehnung eintritt, da eine passive Umlagerung ohne neue Kontraktion nicht mehr rückgängig gemacht werden könnte. Es tritt vielmehr bei der Dehnung eine wirkliche Erschlaffung der einzelnen Muskelfasern ein, die sich erst ganz allmählich wieder gibt.

Betrachten wir nun die beistehenden Kurven (Fig. 7), die dem gleichen Muskelpaar entstammen[2]), der eine Muskel A schrieb

1) Uexküll (13).

2) Um die Kurven vergleichbar zu machen, ist die Latenzzeit bei Bauchstrangreizung vernachlässigt worden.

die Spannungskurve, der zweite Muskel *B* schrieb gleichzeitig die Verkürzungskurve. Gereizt wurde einmal vom Hirn aus und das andere Mal vom Bauchstrang aus. Es müſste nun zum mindesten gefordert werden, daſs an der Stelle, an der die isometrischen Kurven die gleiche Spannung anzeigen, auch die isotonischen die gleiche Länge registrieren. Denn mögen die isotonischen Kurven gegenüber den isometrischen aus irgend einem unbekannten Grunde noch so stark deformiert sein, diese Deformation müſste bei jeder Reizung die gleiche sein, da es sich bei der langsamen Bewegung der Trommel nicht um Schleuderung handeln kann. Wie man sieht, ist gar keine Rede von irgend welcher Übereinstimmung; die Kurven lehren uns im Gegenteil, daſs eine veränderte Innervation genügt, um die Beziehungen der Spannungswerte zu den Verkürzungswerten gründlich zu ändern.

Es bleibt nichts übrig, als anzuerkennen, daſs bei den Sipunculusretraktoren Spannungen und Verkürzungen keineswegs immer Hand in Hand gehen, sondern eine groſse Unabhängigkeit von einander aufweisen.

Für die Muskeln am Froschmagen hat P. Schulz[1]) gleichfalls eine weitgehende Divergenz zwischen isotonischen und isometrischen Kurven gefunden. Daher dürfen wir dieses Faktum für ein sehr allgemein gültiges halten. Einen Fingerzeig, der uns andeutet, in welcher Richtung wir zu gehen haben, um wieder festen Boden zu gewinnen, gibt uns die Trennung der Muskulatur in flinke und langsame Muskelfasern, die besonders dort sehr deutlich auftritt, wo es gilt, einerseits schnelle Bewegungen auszuführen, anderseits die erreichte Stellung dauernd zu sichern, wie z. B. bei Anodonta. Der Stachel der Seeigel besitzt, wie jetzt auch Hamann[2]) bestätigt hat, zwei Muskelschichten. Die äuſsere allein befähigt ihn, schnelle Bewegungen auszuführen, die innere hält den Stachel in jeder erforderlichen Lage fest. Die äuſsere habe ich[3]) daher Bewegungs-, die innere Sperrmuskulatur genannt. Diese verschiedenen Aufgaben, die hier auf zwei verschiedene Muskelschichten verteilt sind, werden für

1) P. Schulz (12). 2) Hamann (8). 3) Uexküll (14).

gewöhnlich von der gleichen Muskelfaser gelöst. Die Möglichkeit aber, zwei Funktionen entsprechend dem Bedürfnisse des Organismus auf ganz verschieden gebaute Muskelfasern getrennt zu übertragen, weist darauf hin, dafs bereits innerhalb der gewöhnlichen Muskelfaser die beiden Funktionen nicht an ein und denselben Apparat gebunden sind.

Der strikte Beweis, dafs die Verkürzung und die Spannung, wenn sie in der gleichen Muskelfaser stattfinden, dennoch nicht die gleiche histologische Basis haben, kann nur dann geliefert werden, wenn es gelingt, sie im gleichem Muskel getrennt zu innervieren.

Zum Glück besitzen wir die Möglichkeit, diesen Versuch an uns selbst auszuführen. Man lasse sich auf die vorgestreckte Hand, während das Ellbogengelenk leicht gebeugt ist, einen schweren Gegenstand legen, dann gelingt es leicht, bevor noch der Gegenstand unsere Handfläche berührt hat, die Beugemuskeln des Oberarmes, besonders den Biceps, neu zu innervieren. Dadurch befähigen wir den Arm im voraus, den schweren Gegenstand zu tragen, d. h. Spannungsarbeit zu leisten, ohne sich zu verkürzen. Die Strecker des Armes bleiben dabei ganz erschlafft, wovon man sich durch direktes Befühlen überzeugen kann, auch leistet der Arm einer passiven Beugung keinerlei Widerstand. Nach einigen Übungen lernen wir auch ohne Zuhilfenahme des schweren Gegenstandes unsere Beuger auf Spannung ohne Verkürzung zu innervieren, während die Strecker schlaff bleiben.

Inwieweit auch in unseren Muskeln die Trennung der beiden Funktionen auf verschiedene Fasern durchgeführt ist, läfst sich aus dem Versuche nicht schliefsen. Sicher ist nur, dafs wir die Spannung nicht als Ursache der Verkürzung ansprechen dürfen, sondern dafs wir den beiden Funktionen zwei distinkte Apparate zuerkennen müssen: einen Verkürzungsapparat und einen Sperrapparat, der einer Wiederausdehnung Spannung entgegensetzt.

Als Schlufs aus dieser Erkenntnis ergibt sich die Einsicht, dafs wir als das Mafs für die der äufseren Arbeit entsprechende Erregung der Muskeln, nicht blofs einen Faktor heranziehen dürfen, sondern dafs beide mitsprechen müssen.

Das ist nach unserer bisherigen Ausdrucksweise nicht möglich, denn wir kennen nur stärkere oder schwächere Erregung. Es sei denn, wir wollten von schwächerer oder stärkerer Verkürzungserregung resp. Spannungserregung sprechen. Dabei ginge die Einheit des Begriffes verloren. Als Ausweg bleibt, von Höhe und Breite der Erregung zu reden, und dabei die Höhe auf die Spannung, die Breite auf die Verkürzung zu beziehen. Das hiefse aber dem Begriff der Erregung doch sehr stark Gewalt anthun.

Ich schlage deshalb vor, einen bereits gebrauchten, aber noch nicht sehr fixierten Terminus einzuführen, der grofse Bequemlichkeit bietet. Ich meine den Tonus. Auch schlage ich vor, an Stelle von Höhe und Breite die Ausdrücke Menge und Druck des Tonus zu gebrauchen.

Wir gewinnen durch die Einführung der Begriffe von Menge und Druck des Tonus eine gewisse Anschaulichkeit oder wenigstens die Vorstellung von etwas Beweglichem, wovon wir später ausgedehnten Gebrauch machen wollen.

Streng genommen, gestattet der Tonusbegriff, wie aus seiner Ableitung hervorgeht, keinerlei weitere Schlüsse über sein Wesen. Er läfst weder irgend welche physikalische Analyse zu, noch ist er einer mathematischen Formulierung zugängig; es ist ein reiner biologischer Begriff, d. h. ein blofses Schema, nach dem man die experimentell gefundenen Thatsachen übersichtlich gruppieren kann. Selbst heuristischen Wert besitzt er nicht, aus ihm heraus läfst sich auf gar keine Thatsache schliefsen, sondern diese müssen jede einzeln durch die Untersuchung festgestellt werden. So entspricht denn die Aufstellung des Tonus-Begriffes nicht einmal den Anforderungen, die man an eine gute Theorie stellen mufs; aber auch eine Theorie ist im Grunde nichts anderes, als das Zugeständnis unserer Unwissenheit; denn wo wir etwas wissen, brauchen wir keine Theorien, und da eine Theorie nur so lange gut ist, als wir mit ihr arbeiten können, so wird es dem Tonus-Schema nichts schaden, wenn wir unsere Unkenntnis über die wahren Vorgänge eingestehen — vorausgesetzt, dafs wir mit dem Schema bequem zu arbeiten im stande sind.

Der Tonus im Muskel.

Bevor wir zur Anwendung unseres Schemas auf die Zuckungskurven übergehen, wird es von Nutzen sein, um allen Mifsverständnissen aus dem Wege zu gehen, nochmals mit allem Nachdruck darauf hinzuweisen, dafs es sich hierbei nicht um physikalische Probleme handelt.

Es wird gewifs einmal möglich sein, und es ist von kompetenter Seite häufig versucht worden, die physikalischen Prozesse des Muskels durch Rückschlufs aus den mannigfaltig variierten Muskelkurven dem Verständnis näher zu bringen. Arbeitsmenge, Wärmemenge, Zeit etc. sind Daten, aus denen wir bei Kenntnis der Bauart einer Maschine mit Leichtigkeit den Energieumsatz dieser Maschine berechnen können. Leider spottet der Muskel bisher allen Versuchen, seine Bauart in Parallele mit bekannten Maschinen zu setzen, und bis dahin werden alle Schlüsse, die man aus den Daten der Zuckungskurven gewinnt, keinen zwingenden Charakter haben, sondern davon abhängig sein, ob man Oberflächenspannung, Quellung, chemische Affinität, Magnetismus oder elektrische Vorgänge im Muskel für ausschlaggebend hält.

Jahrzehnte hindurch hat man versucht, dem physikalischen Problem, das uns der Muskel bietet, näher zu kommen, ohne jeden nennenswerten Erfolg. Dabei hat man in schwer zu rechtfertigender Weise verabsäumt, sich um die biologischen Probleme des Muskels zu kümmern. Es scheint deshalb an der Zeit zu sein, die Frage: welche Rolle spielt der Muskel im Tierkörper? neu aufzugreifen. Das Studium dieser Frage ist aus zweierlei Gründen wichtig. Erstens, weil es uns neue Einblicke in die Muskelbewegungen thun läfst, und zweitens, weil die Muskelbewegungen selbst unser einziges Hilfsmittel sind, um in das Verständnis der Vorgänge des Nervensystems einzudringen. Mit Ausnahme der sehr dürftigen Antworten, die wir durch die elektrischen Schwankungen erhalten, sind es nur die Muskelbewegungen, die uns Veränderungen im Nervensystem ankündigen.

Von der Natur der Veränderungen in den Nerven wissen wir nichts, hier sind die Analogien zu den sonst bekannten physikalischen Vorgängen noch weit unbefriedigender als im Muskel. Endlich hat man sich an das Studium der Veränderungen in den Centren von physikalischer Seite noch gar nicht herangewagt. Ja, wir stehen hierbei noch derart im Beginne unserer Erkenntnis, dafs noch vor kurzem von einem so kompetenten Forscher, wie Loeb[1]) es ist, die Existenz der Centren geleugnet werden konnte.

Wir befinden uns, wie hieraus hervorgeht, folgender Sachlage gegenüber. Auf der einen Seite haben wir ganz greifbare physikalische Daten, die uns die Muskelkontraktion liefert, und auf der anderen Seite befinden wir uns Vorgängen im Nervensystem gegenüber, die unseren bisherigen Hilfsmitteln entgehen. Trotzdem wissen wir, dafs diese unsichtbaren Veränderungen im Nervensystem mit den grobphysikalischen Bewegungen der Muskeln in einem notwendigen ursächlichen Zusammenhang stehen. Wir sind daher gezwungen, wenn wir diesen Zusammenhang experimentell untersuchen wollen, nach einer vorläufigen ganz allgemeinen Formulierung zu suchen, unter die wir die nervösen Vorgänge bringen können, und welche uns zugleich gestattet, den Zusammenhang zwischen nervösen Vorgängen und Muskelarbeit möglichst widerspruchslos auszudrücken.

Bisher hatte man sich mit dem unbestimmten Begriff der Erregung begnügen können, unter den man all diese Veränderungen zusammenfafste. Man verstand unter Erregung eine Zustandsänderung im Muskel, die einerseits von dem Nerven her durch eine ähnliche, wenn auch viel schwächere Zustandsänderung hervorgerufen wurde, anderseits diejenigen Vorgänge im Muskel veranlafste, die schliefslich zur mechanischen Arbeitsleistung führten.

Da der Begriff der Erregung zu eng gefafst war und sich nur auf plötzliche Zustandsänderungen bezog, habe ich bereits den Begriff Tonus dafür eingeführt, der den dauernden Einflufs

1) Loeb (9).

des Nerven auf den Muskel wiedergeben sollte. Danach rief ein bestimmter Tonus im Nerven einen bestimmten Tonus im Muskel hervor, und dieser sollte aus der jeweiligen Länge des Muskels erschlossen werden. Es war daher gerechtfertigt, sich vorläufig mit dem einfachen Begriff der Tonussteigerung zu begnügen, da nur äufsere Umstände es bestimmten, ob die Tonussteigerung in der Verkürzung oder in der Spannung zum Ausdruck kam.

Aus dieser gewohnten Anschauung reifsen uns, wie wir sahen, die Erfahrungen am Retraktor des Sipunculus heraus. Wir sehen an ihm, dafs es verhinderte Verkürzung geben kann, die keine Spur von Spannung hervorruft, und anderseits gibt es Muskeln, die hochgradige Spannung zeigen und dabei lang verbleiben, obgleich sie nicht an der Verkürzung verhindert sind. Das bewies uns die Existenz von zwei getrennten Apparaten, die wir als Verkürzungs- und als Sperrapparat unterschieden. Ferner sahen wir, in welcher Weise diese Erfahrungen den Tonusbegriff zu modifizieren zwangen. Um die Einheit der Vorstellung nicht einzubüfsen, nahmen wir an, dafs sowohl für die Verkürzung, wie für die Spannung der gleiche Tonus verantwortlich gemacht werden mufs. Um anderseits den Thatsachen gerecht zu werden, dafs Verkürzung und Spannung zwei voneinander unabhängige Erscheinungen sind, nahmen wir an, dafs der Tonus in zwei Formen auftreten könne, ohne Druck und mit Druck, und machten den Tonus ohne Druck für die Verkürzung, den Tonus mit Druck für die Spannung verantwortlich. Der Druck des Tonus trug in sich die Möglichkeit, in verschiedener Intensität aufzutreten, und es ergab sich von selbst, dafs den verschiedenen Spannungen verschieden hohe Drucke als entsprechend angenommen werden konnten.

Aber auch die Verkürzung des Muskels zeigt verschiedene Grade, und so erwies es sich als notwendig, in den ganz ungeformten Begriff des Tonusdruckes eine ihrer Intensität nach wechselnde Vorstellung hineinzutragen. Wir wählten hierzu den Begriff der Menge.

Zu diesen Begriffen Druck und Menge des Tonus gesellt sich als notwendiges Korrelat ein dritter Begriff: die Kapacität. Durch sie schliefsen sich die drei Begriffe zu einem einheitlichen Schema zusammen, das uns gestattet, den Tonus mit uns geläufigen anschaulichen Vorstellungen zu vergleichen, und gegebenenfalls einen bestimmten Vorgang im Nervensystem durch Vergleich mit Flüssigkeiten oder Gasen zu erläutern.

Dieses ist aber nicht das Wesentliche. Die Hauptsache besteht darin, dafs das Schema uns erlaubt, die aus den Experimenten gewonnenen Thatsachen in übersichtlicher Weise zu gruppieren und dem Gedächtnisse in der Form eines fiktiven Zusammenhanges einzuprägen.

Eine Darstellung von postulierten Vorgängen im Muskel nach einem fiktiven Schema hätte an sich sehr wenig Sinn. Da hält man sich besser an die greifbaren physiologischen Thatsachen und sucht diese selbst möglichst übersichtlich zu ordnen. Zur Darstellung der Vorgänge im Nervensystem können wir eines Schemas aber nicht entraten, da uns hier kein direktes Beobachtungsmaterial geboten wird, das wir ohne weiteres ordnen könnten. Wir erfahren blofs durch Rückschlüsse aus den Muskelbewegungen, dafs hier etwas geschieht. Dieses Etwas müssen wir in eine Form kleiden, auf welche die Beobachtungen am Muskel anwendbar sind. Da dieses Etwas, das sich im Nervensystem vollzieht, nicht unmittelbar auf die Muskelarbeit wirkt, sind wir gezwungen, ein gleichartiges Etwas im Muskel zu suchen, von dem seinerseits die Muskelthätigkeit abhängt.

Die nun folgende Darstellung der postulierten Vorgänge im Muskel nach dem Tonusschema auf Grund der Zuckungskurven ist daher von dem Standpunkte zu betrachten, dafs hierdurch die Brücke geschlagen wird, die zu den Vorgängen im Nervensystem führt.

Die Probe auf die Brauchbarkeit eines Begriffsschemas wird erst dann geliefert, wenn es auch graphisch verwertbar ist. Denn das graphische Schema allein liefert die Möglichkeit zweifelsfreier Verständigung und zwingt uns, über Einzelfragen in Klarheit zu kommen, über die wir sonst mit zwei Worten hinweggehen.

Untenstehend (Fig. 8) findet man das Schema für die Tonusbewegung im Muskel, das die gefundenen Thatsachen erläutern soll. Aus dem Ausflufsrohr (*A.*) entweicht der Tonus, der in Arbeit verwandelt werden soll. Er fliefst, wenn er ohne Druck entweicht, in den Trichter (*T.*) ab und wird, wie das darunter stehende Licht (*L.*) andeuten soll, hier verbrannt und leistet die Arbeit der Muskelverkürzung. Falls er unter Druck hervorschiefst, treibt er das Rad (*R.*), das die Sperrvorrichtungen im Muskel in Thätigkeit setzt, und dem Muskel die Fähigkeit verleiht, äufseren Zugkräften Widerstand entgegenzusetzen, die wir

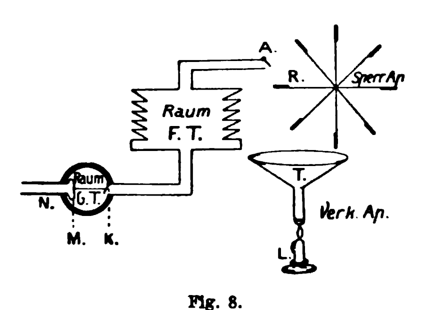


Fig. 8.

Spannung nennen. Aus *A.* kann wohl der Tonus jederzeit frei ausströmen, eine Rückströmung jedoch von aufsen hinein ist völlig ausgeschlossen, weshalb man sich die Ausflufsöffnung ventilartig gebaut denken kann.

Auf die Fragen der Umwandlung der Energie im Muskel und auf das schwierige Problem, wie ein Zusammenarbeiten von Verkürzung und Sperrung möglich ist, soll nicht weiter eingegangen werden. Es sei hiermit nur angedeutet, dafs Druck und Menge des Tonus verschiedene Apparate in Thätigkeit setzen.

Das Rohr (*N.*), das den Nerven darstellt, ist mit einer Membran (*M.*) verschlossen, um anzudeuten, dafs der Nerv auf den Muskel nur durch Druckschwankungen wirken kann, wogegen die Menge des Nerventonus streng an das Nervensystem gebunden bleibt, wo es seine eigenen Aufgaben zu vollbringen hat. Niemals wird Nerventonus in Muskelarbeit verwandelt. Es wird nun angenommen, dafs der Druck des Nerventonus eine Vorstülpung der Membran in den Raum für gebundenen Tonus

(*G. T.*) bewirkt. Der daselbst in gebundener Form befindliche Muskeltonus verwandelt sich durch den Membrandruck in freien Tonus, der wiederum dem äufseren Druck Widerstand zu leisten vermag. Durch das Vorstülpen der Membran wurde gleichzeitig die Klappe (*K.*) geschlossen, und derart dem entstehenden freien Muskeltonus die Möglichkeit geschaffen, einen Gegendruck gegen die Membran auszuüben. Ist dieser Gegendruck genügend hoch, so wird die Membran zurückgestofsen, die mit ihr verkoppelte Klappe öffnet sich, und der freie Tonus kann in den zweiten Raum für freien Tonus (*F. T.*) entweichen. Dieser Raum (*F. T.*) hat, wie seine Harmonikaform andeutet, wechselnde Kapacität, und diese Kapacität steht in direkter Abhängigkeit von der Länge des Muskels, d. h. je länger der Muskel, je gröfser ist die Kapacität des Raumes *F. T.* und umgekehrt.

Wir werden jetzt versuchen, die Thatsachen der Muskelphysiologie des Sipunculus aus diesem Schema abzuleiten. Da das Schema selbst aus den Thatsachen abgeleitet worden ist, liefert uns dieser Rückschlufs die Probe auf das Exempel, ob wir bei der Aufstellung des Schemas keine Fehler begangen oder wichtige Thatsachen vernachlässigt haben.

Wie das Schema zeigt, kann die Membran des Nervenrohres dauernd in den Raum *G. T.* vorgebuchtet bleiben, wenn das Rohr selbst centralwärts abgeschlossen bleibt, und zugleich Nerventonus im Nervenrohr vorhanden ist. Je nach der Gröfse des Druckes mit der die Membran nach *G. T.* zu vorgetrieben ist, wird sich auch die Umwandlung von gebundenem in freien Tonus mit gröfserer oder geringerer Energie vollziehen. Nehmen wir an, die Membran sei dauernd sehr stark vorgetrieben, so mufs sehr viel freier Tonus gebildet werden. Dieser kann aber erst dann entweichen, wenn sein Druck so hoch gestiegen ist, dafs er die Membran zurückzudrängen vermag, wobei die Klappe geöffnet wird. Dabei wird er selbst unter hohem Druck entweichen und den Raum *F. T.* anfüllen. Auf die Wände des Raumes *F. T.* übt er aber keinen Druck aus, da ihm die Möglichkeit gegeben ist, aus *A.* zu entweichen. Dort setzt er dann sowohl Sperr- wie Verkürzungsapparate in Thätigkeit. Daraus müssen

wir schliefsen, dafs ein Muskel, der dauernd unter hohem Tonusdruck vom Nerven her steht, dauernd verkürzt bleiben mufs, und dauernd seiner Wiederausdehnung Widerstand entgegensetzen wird, die wir Spannung nennen. In der That erhalten wir durch bestimmte Beeinflufsung des Nerven vom Centralsystem aus, wie wir später kennen lernen werden, Muskelpräparate, die dauernd verkürzt bleiben und Spannung zeigen.

Ist die Beeinflufsung durch den motorischen Nerven geringer, und um auf unser Schema zurückzukommen, die Membran weniger vorgetrieben, so geht die Tonusentwickelung weniger energisch vor sich. Aber schon eine geringe Tonusmenge zeitigt genügenden Druck, um die Membran zurückzudrängen und sich durch Öffnung der Klappe den Weg ins Freie zu bahnen. Hier gelangt der Tonus in den Raum *F. T.*, den er langsam auffüllt, um schliefslich aus der Öffnung *A.* zu entweichen. Um die Sperrvorrichtungen zu treiben, genügt der Druck nicht, vielleicht genügt die Menge gerade, um den momentanen Verkürzungszustand festzuhalten. Dann behält der Muskel seine alte Länge bei. Ist die ausfliefsende Menge dazu nicht ausreichend, so wird weniger Verkürzungsarbeit geleistet. Dann erschlafft der Muskel langsam und stellt sich auf eine neue Länge ein, die nun seine Normallänge wird.

Wie wir sehen, ist die Normallänge, die der Muskel einnimmt, durchaus abhängig vom Tonusdruck im Nerven. Dies wird sich erst voll bestätigen lassen, wenn wir die Vorgänge im Nerven kennen gelernt haben.

Eine andere Thatsache, die uns aber schon jetzt zugänglich ist, läfst sich aus dem Tonusschema ableiten. Die Kapacität des Raumes *F. T.* steht, wie wir behaupteten, in direkter Abhängigkeit von der wirklichen Länge des Muskels. Nun besitzen wir keine Handhabe, um den Muskel zu verkürzen, es sei denn durch eine neue Erregung. Dafür können wir den Muskel durch einfaches Auseinanderziehen beliebig verlängern. Welchen Einflufs mufs dieser Eingriff auf den Tonus haben? Sind die Sperrvorrichtungen in Thätigkeit, so bleibt das Auseinanderziehen

ohne Erfolg, die erweckte Spannung führt den Muskel ohne weiteres zur alten Länge zurück.

Sind dagegen die Sperrvorrichtungen nicht in Thätigkeit, sondern blofs der Verkürzungsapparat, so setzt der Muskel der Dehnung keinen Widerstand entgegen und es kommt zu einer wirklichen Ausdehnung, der auch der Raum *F. T.* folgen mufs. Infolgedessen wird der aus *G. T.* nachfliefsende Tonus nicht zum Ausflufsrohr gelangen, sondern zum Nachfüllen des nun erweiterten Raumes benutzt werden. Durch diese plötzliche Einstellung der Verkürzungsarbeit zeigt der Muskel auf jede Dehnung hin eine wirkliche Erschlaffung, die erst dann ganz allmählich wieder weicht, wenn der Raum *F. T.* von neuem mit freiem Tonus angefüllt ist, und aus *A.* wiederum Tonus entweichen kann, der zur Verkürzungsarbeit dient. Kann der Muskel frei folgen, so verkürzt er sich, der Raum *F. T.* wird verkleinert, der überschüssige Tonus hinausgedrängt und gleichfalls verbrannt, bis wiederum die alte Gleichgewichtslage erreicht ist. Eine Rückwirkung vom Raum des freien Tonus auf den Raum für gebundenen Tonus wird gleichfals erfolgen. Die Klappe wird sich beim plötzlichen Sinken des Druckes auf der einen Seite schliefsen und dabei, falls die Nervenmembran folgen kann, auch diese mit vorziehen, was nicht ohne Einflufs auf den Nerven selbst erfolgen kann.

Aus dem Schema ergibt sich daher, dafs ein Muskel, der dauernd verkürzt ist und dauernd auf Dehnung Spannung zeigt, durch die Dehnung selbst nicht verändert wird, wie das an jedem Retraktorpräparat, dessen Präparation zu eilig erfolgte, zu sehen ist. Der Muskel bleibt dauernd verkürzt und kein Dehnen ändert etwas daran.

Dagegen zeigt ein Retraktor, der mit Vorsicht präpariert wurde, eine mittlere Länge, die er, frei im Wasser aufgehängt, dauernd beibehält. Ein jeder Zug ruft bei ihm im Gegensatz zu vorhin nicht Spannung, sondern Erschlaffung hervor.

Diese höchst frappante Eigenschaft des normalen Retraktors ist im Leben des Tieres von grofser Bedeutung. Es kann immer der Fall eintreten, dafs bei einem plötzlichen Reiz am Hinterende des Tieres eine Kontraktion eintritt, die die Innenflüssig-

keit nach vorne drängt, wobei die Retraktoren gedehnt werden, ehe noch ihre Centren in Aktion treten konnten. Dann kommt es nie zu Zerrungen, sondern die eintretende Erschlaffung schützt die Muskeln vor diesem Eingriff. Besonders wichtig wird diese Eigenschaft in allen Fällen, wo durch die Zerrung nervöse Organe in Gefahr stehen mit getroffen zu werden, wie z. B. an den freien Partien des Bauchstranges.

Auf die Erschlaffung folgt, wenn der Muskel wieder frei ist, eine langsame Umkehr zur Anfangslänge. Gibt man dem Muskel ganz allmählich seine Bewegungsfreiheit wieder, indem man das ihm anhängende Gewicht langsam hebt, so wird er dieser Bewegung aufs genaueste folgen und sich im gleichen Tempo verlängern und verkürzen. Der gleiche Versuch läſst sich an der Körpermuskulatur von Sipunculus nudus auf das Schönste wie folgt ausführen.

Man sticht mit einer langen Stecknadel, deren Spitze hakenförmig gekrümmt ist, neben dem Bauchstrang, dessen Lage sich mit Hilfe der Öffnungen der Segmentalorgane leicht feststellen läſst, durch die Leibeswand hindurch, sucht mit dem Haken den Bauchstrang zu packen, und zieht ihn in toto bis an die Ansatzstelle des freien Bauchstranges heraus. Dann schneidet man das Vorderende des Tieres hinter der Afteröffnung ab und bindet den so gewonnenen Hautmuskelschlauch des Hinterteiles, nachdem man den Darm und das Blut entfernt hat, an ein Glasrohr. Dann steckt man den Wurm und das Glasrohr in ein Bassin mit Seewasser und füllt bis zur Hälfte des Rohres dasselbe mit Seewasser auf. Richtet man jetzt das Rohr senkrecht auf und sucht den Meniscus im Rohr mit dem des Seewassers in gleiche Lage zu bringen, so zeigt sich bei lebensstarken Exemplaren, daſs im Innern ein geringer Überdruck bestehen bleibt, gleichgültig wie hoch oder wie tief wir das Rohr ins Seewasser senken. Dabei verkürzen und dehnen sich die Muskeln im gleichen Tempo, wie wir das Rohr heben und senken. Der lebende Muskelschlauch eines Sipunculus auch ohne Nervensystem benimmt sich also seinem steigenden und fallenden Binnendruck gegenüber durchaus anders als eine Gummi-

blase. Die Muskeln vermögen im Gegensatz zu jedem elastischen Körper ihre Länge nach Maſsgabe des auf ihm lastenden Druckes zu regulieren ohne ihre Spannung zu wechseln.

Diese Fähigkeit ist für das Leben des Gesamttieres von wesentlicher Bedeutung. Die Muskeln stehen unter einem immer wechselnden Binnendruck und müssen doch jeden Moment aktionsfähig bleiben. Um sich eine Vorstellung von den Druckschwankungen im normalen Leben des Tieres zu verschaffen, verfährt man folgendermaſsen. Zwei Spritzen einer 2 proz. Kokainlösung in Seewasser bringen mittelgroſse Exemplare von Sipunculus bald zur Erschlaffung. Man warte bis die Erschlaffung eine vollständige ist, hebe das Tier am Hinterende aus dem Wasser und schneide die Endspitze ab. In die Öffnung bindet man ein zugestöpseltes Glasrohr, das auf geeignete Weise mit einem Manometer verbunden werden kann. Dann läſst man dem Wurm über Nacht Zeit sich zu erholen. Am nächsten Morgen wird er wieder normale Bohrbewegungen machen. Jetzt verbindet man das Glasrohr mit dem Manometer und kann, wenn man ein längeres Gummirohr eingeschaltet hat, die Druckschwankungen noch ablesen, während der Wurm sich bereits unter dem Sande befindet. In extremen Fällen zeigt das Manometer bis zu 6 cm Quecksilber Druck. Unter diesem Druck wird der Rüssel nach vorne gestoſsen. Er bildet dabei ein widerstandsfähiges Instrument, das sehr geeignet ist, den Sand zu teilen.

Man kann in sehr weiten Grenzen einem so behandelten Wurm Blut entziehen, oder Seewasser nachfüllen, ohne die Bohrbewegungen im geringsten zu alterieren.

Wir wissen jetzt, daſs die hierzu erforderliche Regulation der Muskulatur ohne centralen Einfluſs von statten geht. Eine solche Regulation ist aber nur dann möglich, wenn mit der Belastung des Muskels eine Abnahme und mit der Entlastung eine Zunahme der Muskelarbeit Hand in Hand geht. Es muſs also der rein äuſserliche Eingriff der Dehnung bis tief hinein auf jene Faktoren wirksam sein, die einen Energieumsatz im Muskel bedingen. Deshalb haben wir in unserem Schema dem Raum für freien Tonus die Harmonikaform gegeben, deren Kapacität bei

der Dehnung wächst und bei der Verkürzung abnimmt. Durch Zunahme der Kapacität eines Raumes, in dem sich der Arbeitsenergie erzeugende Faktor, d. h. Tonus, befindet, wird am einfachsten der Zusammenhang zwischen Muskeldehnung und Abnahme der Muskelarbeit erläutert, weil der erweiterte Raum selbst den gesamten vorhandenen Tonus verschluckt, wobei das Entweichen des Tonus und hiermit die Arbeitsleistung sistiert wird.

Die Regulierung ist ferner auch nur dann möglich, wenn durch die Formveränderung des Muskels keinerlei elastische Kräfte geweckt werden, die der Formveränderung entgegenwirken.

Auch der sehr interessante Einflufs der Temperatur auf die Schnelligkeit des Energieumsatzes im Muskel kann durch Einführung elastischer Hüllen völlig verwischt werden. Ein Retraktor verkürzt und verlängert sich nicht allein viel schneller im warmen Wasser, wenn er gereizt wird, er bleibt auch dauernd lang im warmen und dauernd kurz im kalten Seewasser. Ja, man kann durch geeignete Kühlvorrichtungen einen Retraktor streckenweise zur Verkürzung bringen, während der Rest des Muskels lang bleibt.

Es bleibt deshalb die Frage offen, ob nicht das Studium der glatten Muskeln viel geeigneter wäre, um uns Aufklärung auch über die rein physikalischen Prozesse zu verschaffen, als das Studium der quergestreiften Muskeln, deren konstante Länge sehr wahrscheinlich auf den Einflufs elastischer Zwischenlager zurückgeführt werden darf.

Bisher haben wir unser Schema betrachtet in den Fällen, da ein andauernder Druck von gleicher Stärke, von der Nervenmembran ausgehend, auf den Raum *G. T.* wirkte.

Wir wenden uns jetzt zu den Fällen, da dieser Druck ein schwankender und vorübergehender ist. Am meisten werden sich die Verhältnisse bei langsam auf und ab steigendem Druck dem schon bekannten nähern. Drücken wir mit Hilfe des Nerventonus die Membran langsam ein und geben wir langsam wieder nach, so wird sich je nach der Höhe des Druckes viel Tonus unter hohem Druck oder wenig Tonus unter niederem Druck im Raum *G. T.* entwickeln. In jedem Falle wird sich der Tonus durch

Rückwirkung auf die Membran und Öffnung der Klappe den Weg bereits ins Freie gebahnt haben, ehe der Nervendruck nachläfst. Es resultieren dabei langsam absteigende und aufsteigende Kurven, sowohl für isometrische wie isotonische Schreibung, denn Druck und Menge des Tonus wachsen und fallen hierbei gleichzeitig.

Um experimentell solche Kurven zu erhalten, reizt man mit Vorteil den freien Bauchstrang durch Scherenschnitte. Je weiter ab vom Vorderende geschnitten wird, je niedriger und flacher werden die Kurven, je näher nach vorne zu, um so höher steigen sie an. Auch kann man durch Tetanisieren des Bauchstranges mit wechselnden Strömen und in wechselnder Entfernung jede beliebige Kurve von langsamem Typus erhalten. Jedoch sowohl beim Tetanisieren, wie bei der Reibung durch den Schnitt können sich bereits Kurven vom zweiten, schnellen Typus einmischen.

Der zweite Kurventypus zeigt sich dann, wenn die Membran des Nervenrohres plötzlich nach *G. T.* hineingeschoben und dann so plötzlich wieder zurückschnellt, dafs die Klappe geöffnet wird, ehe der Druck des frei werdenden Tonus genügend hoch war, um selbst den Membrandruck zu überwinden und die Klappe zu öffnen. Die Folge davon ist, dafs plötzlich eine Menge Tonus frei wird, dessen Druck in keinem Verhältnis zur Menge steht. Zwar wird auch in diesem Falle die Hauptmenge des Tonus unter Druck hinausgeschleudert werden, es wird aber noch genügend Tonus nachbleiben, der ganz druckfrei ist und erst allmählich ausrinnt, weil die weitere Erzeugung des Tonus plötzlich unterbrochen wurde. Hierbei ergeben sich dann isotonische Kurven, die dreimal so lang sein können, wie die isometrischen. So allein wird es verständlich, dafs ein Sipunculusretraktor, den ein Instantanreiz getroffen hat, ganz kurz bleiben kann, ohne doch der Dehnung den geringsten Widerstand entgegenzusetzen. Nach der Fickschen Lehre dürfte es keine Verkürzung geben, die nicht durch Zug in Spannung verwandelt werden könnte.

Als Instantanreiz dient, abgesehen von direkter Muskelreizung am zuverlässigsten ein leichter Pinselschlag aufs Gehirn. Doch

kann man auch durch Kneifen der Rüsselhaut momentan wirkende Reize erhalten, ebenso wirkt Durchschneidung der freien Rüsselnerven als Instantanreiz, während, wie wir sahen, eine Durchschneidung des die Centra tragenden Bauchstranges eine langsamere Reizung zur Folge hatte. Da hier aber beide Elemente zusammenkommen, erhält man, wie erwähnt, auch gemischte Kurven, die steil ansteigen, aber langsam abfallen. Es ist also nicht der Reizort, wie ich in meiner ersten Arbeit irrtümlich angenommen hatte, sondern die Plötzlichkeit des Reizes allein entscheidend für die Form der Kurve; auch ein Schnitt ins Gehirn kann den langsamen Zuckungstypus hervorrufen.

Ich habe bereits vorhin angedeutet, wo wir meines Erachtens die Gründe zu suchen haben, die den Kurven des Retraktors ein so durchaus anderes Gepräge verleihen, als dem quergestreiften Wirbeltiermuskel. Bei den Wirbeltieren kommt alles darauf an, dafs die Muskeln nach der Erregung möglichst prompt ihre Anfangslänge wieder einnehmen. Das wird am leichtesten durch elastische Zwischenstücke erreicht werden, die sich jeder Formveränderung widersetzen und daher den Muskel, sobald ihm keine Spannung entgegenwirkt, zur Ruhelänge zurückführen.

Das verschiedene Verhalten der beiden Muskelarten erinnert an ein beliebtes Kinderspielzeug, das aus einem Gummiballon mit angehängter Lippenpfeife besteht. Ist die Gummimembran stark, so entlädt der Ballon die ihm eingetriebene Luft durch einen kurzen, schrillen Pfiff. Während ein solches Instrument mit dünner Gummimembran eine halbe Stunde lang forttönen kann, bis man endlich mit dem Fufs darauftritt.

Der Tonus im Nerven.

Im Nerven haben wir dem Schema gemäfs nichts anderes zu erblicken, als ein Rohr mit festen Wandungen, das nach dem Muskel zu mit einer dünnen nachgiebigen Membran abgeschlossen ist, das aber nach dem Centrum zu sich frei öffnet. In diesem Rohr kann sich der Tonus frei bewegen, sowohl Druckwellen fortpflanzen, wie sich seiner Menge nach verschieben. Aber weder entsteht der Tonus hier, noch wird er hier verbraucht.

Ein Schnitt durch den Nerven wirkt wie das Abklemmen des Rohres. In die Luft kann der Tonus nicht abfliefsen.

In diese Anschauung pafst vortrefflich die bekannte Thatsache von der Unermüdbarkeit des Nerven. Wenn wir durch Vergiftung mit Curare oder durch Erzeugung von Anelectrotonus den Nerven nahe dem Muskel zeitweise unpassierbar machen, so können wir während dieser Zeit durch Reizung des Nerven im Rohr beliebig viel Druckwellen erzeugen. Das ändert weder am Rohr noch an seinem Inhalt das Geringste. Im Moment, wo das Hindernis beseitigt ist, wirken die Druckwellen auf den Muskel wie vorher.

Ferner deckt sich mit unserer Vorstellung die Thatsache, dafs es niemals gelingt, in einem einfachen Nervmuskelpräparat durch irgendwelchen Reiz Erschlaffung der Muskeln zu erzielen. Während das doch, solange noch ein Centrum zwischen Reizort und Muskel eingeschaltet ist, in den meisten Fällen spielend gerät. Dieses Faktum ist so sehr in die Augen springend und so leicht experimentell zu verwerten, dafs ich trotz der wohlbekannten Einwände vorschlage, die Frage nach dem Vorkommen eines zwischen Reizort und Muskel eingeschalteten Centrums in allen zweifelhaften Fällen bejahend zu entscheiden, sobald auf einen beliebigen Reiz hin eine Erschlaffung im Muskel eintritt.

Da der abgeschnittene Nerv einem abgeklemmten Rohre gleicht, so ist leicht verständlich, dafs aus ihm der vorhandene Tonus auf keine Weise mehr herauszuschaffen ist. In einem abgeschnittenen Nerven kann man nur noch Druckwellen erzeugen, die dem Muskel jedesmal zu neuer Tonuserzeugung Anlafs geben.

Und nun nahen wir uns dem Experiment, das als experimentum crucis unserer Gesamtanschauung dienen darf. Wenn die Vorgänge im Nervensystem, wie wir es annehmen, getragen werden von einem Faktor, an dem wir nicht blofs Druck, sondern auch Menge nachweisen wollen, der also darin der bisher angenommenen Erregung durchaus unähnlich ist, so mufs es hier zur Entscheidung kommen. Auf der einen Seite haben wir ein blind endendes Rohr, das eine nachgiebige Membran trägt. Diese Membran wird je nach dem Druck im Rohr mehr oder minder vorgetrieben. Diese wechselnde Stellung der Membran

gibt sich in der wechselnden Länge des Muskels getreulich kund. Ein Schnitt durch den Nerv wirkt wie das Abklemmen des Rohres; gelingt es uns nun, vor dem Abklemmen von dem Centrum aus möglichst viel Tonus in das Rohr hineinzupressen, so muſs dieser Tonus im Rohr stecken bleiben und sich durch eine dauernde Verkürzung des Muskels kundthun.

Wir müssen uns von vornherein darüber klar sein, daſs wir durch das Abklemmen des Rohres nicht vorübergehende Drucksteigerungen, die als Wellen durch die Röhre gehen, sondern bloſs eine dauernde Drucksteigerung werden festhalten können, wenn diese hervorgerufen ist, durch eine wirkliche Verschiebung des gesamten Inhalts der Röhre vom Centrum nach der Peripherie hin.

Wenn uns das aber gelingen sollte, dann haben wir damit den positiven Beweis erbracht, daſs im Nerven nicht bloſs unfaſsbare Zustandsänderungen, die wir Erregungen nannten, entlang gleiten, sondern daſs der Nerv einen wirklichen Inhalt besitzt, bei dem wir nicht allein von Druck, sondern auch von Menge reden dürfen — den Tonus.

Bevor wir zum entscheidenden Experiment, das ich den Tonusfang nenne, schreiten, müssen wir uns davon überzeugen, wie unter normalen Bedingungen die Abtrennung des Centrums vom Muskel wirkt. Schneiden wir an einem geöffneten Tier einen beliebigen, zur Muskulatur führenden Nerven durch, so erschlafft die dazu gehörige Muskelpartie. Sehr deutlich zeigen diese Erschlaffung die Retraktoren, wenn wir die vom Gehirn zum Bauchstrang führende Kommissur hart am Bauchstrang durchschneiden. Dann verlängern sich die zur durchschnittenen Kommissur gehörenden beiden Retraktoren sofort, und der Unterschied gegenüber den beiden anderen ist sehr deutlich sichtbar. Am deutlichsten stellt sich dieser Unterschied dar, wenn die Muskeln vor der Durchschneidung schon relativ lang waren.

Dieser Abfall der Normallänge ist ein sehr stark in die Augen springendes Experiment und beweist uns, daſs in der Norm vom Centrum aus dauernd Druckschwankungen ausgehen, die nach der Durchschneidung aufhören. Infolgedessen sinkt der Druck, der auf der Membran lastet, und die Normallänge des Muskels ändert sich dementsprechend.

Ganz anders fällt das Resultat aus, wenn wir die Durchschneidung vornehmen nach vorhergehender möglichst allgemeiner Reizung des Tieres. Dann verlängern sich die abgetrennten Muskeln entweder gar nicht, so dafs sie dauernd ad maximum verkürzt verharren oder sie lassen ein wenig nach, ohne jedoch bis auf die alte Norm herunterzugehen und verbleiben in leicht kontrahiertem Zustand. Im ersten Falle sind auch die Sperrvorrichtungen dauernd in Thätigkeit, so dafs sie einer Wiederausdehnung kräftige Spannung entgegensetzen. Diese Erscheinung habe ich schon in meiner[1]) ersten Arbeit beschrieben, ohne ihre Bedeutung zu erfassen. Im zweiten Falle, bei dem nur ein wenig mehr Tonus als normal im Nerven verbleibt, handelt es sich also um eine neue Normallänge des Muskels, wie wir sie bereits zum Versuche mit dem wechselnden Binnendruck benutzt haben.

Wir haben es daher in der Hand, sowohl die Retraktoren wie die Hautmuskulatur in einem beliebigen Kontraktionszustand festzulegen. Je stärker und allgemeiner wir vorher reizen, um so stärker wird die dauernde Kontraktion sein. Je stärker sich vorher die Muskeln erschlafft zeigten, um so deutlicher wird ihre dauernde Verlängerung zu Tage treten.

Keine Erfahrung am Sipunculus widerspricht unseren bisherigen Anschauungen stärker als dieser Versuch des Tonusfanges; er wird immer zum Ausgangspunkt der neuen Auffassung über die Erregung dienen müssen.

Der Tonus im Centralnervensystem.

a) Die Repräsentanten.

Jetzt ist der Boden soweit vorbereitet, dafs wir langsam weiter tastend ein Gebiet betreten können, das zugleich das dunkelste und das wichtigste der gesamten Physiologie ist.

Direkten Einblick können wir mit unseren mangelhaften Hilfsmitteln hier nicht gewinnen. Auch die Histologie, die uns bei

1) Uexküll (13). S. 11: »Nach Eröffnung des Tieres und Entfernung des Darmes findet man die Retraktoren ad maximum kontrahiert. Es ist nun unbedingt geboten, dem Tier jetzt so lange Ruhe zu lassen, bis die Muskeln wieder vollkommen erschlafft sind. Bei Nichtbeachtung dieser Vorsichtsmafsregel läuft man Gefahr, ein Präparat zu erhalten, das nie wieder aus der Kontraktur herauskommt.«

der Suche nach dem Nerven im Körper helfend beiseite stand, verläfst uns. Was sie uns bietet, sind für uns nur Rätsel.[1]) Seitdem Bethe[2]) uns auch des letzten Anhaltspunktes beraubt hat, indem er zeigte, dafs ein Reflex auch ohne Ganglienzellen ablaufen kann, sind wir ganz allein auf das physiologische Experiment angewiesen.

Aber auch dieses gestattet uns blofs, aus fern abliegenden Vorgängen im Muskel Schlüsse auf die Vorgänge im Centralnervensystem zu ziehen. Dafür dürfen wir aber die Gewifsheit hegen, dafs sich alle Vorgänge im Centralnervensystem früher oder später äufserlich kundgeben werden. Denn das Centralnervensystem als integrierender Teil eines Organismus hat seine ganz bestimmten Funktionen für diesen Organismus zu leisten und ist dementsprechend gebaut. Es ist zwischen den Organen, die die äufseren Reize aufnehmen, und den Organen, die die Antwort des Körpers darauf geben, gelegen. Es hat dafür zu sorgen, dafs unter allen möglichen Antworten die richtigste gegeben wird.

Wenn auf den Reiz, den die Nahrung des Tieres ausübt, die Bewegungskombination des Hinkriechens erfolgt und auf den Reiz, den ein Feind übermittelt, die Bewegungskombination des Wegkriechens erfolgt, so ist daran das Centralnervensystem in hervorragendem Mafse beteiligt. Zwar haben die äufseren Receptionsorgane dafür zu sorgen, dafs alles, was an äufseren Vorgängen von Wichtigkeit ist, bestimmten Nerven und in bestimmter Stärke mitgeteilt werde. Die Rezeptionsorgane selbst übernehmen daher die erste Hauptaufgabe, die Auswahl und die gesonderte Übermittelung der Aufsenreize. Das Centralnervensystem aber hat die Aufgabe, die ihm von verschiedenen Seiten und in verschiedener Stärke zugehenden Reize derart weiter zu verteilen, dafs die Muskeln in der Kombination darauf antworten, die der Erhaltung des Gesamtorganismus am förderlichsten ist.

In dieses sehr allgemeine und wenig fafsbare System von sich kreuzenden Erregungen trägt die Vorstellung des Tonus

1) Man vergleiche hierzu die interessanten Arbeiten von V. Mack (10) und Haller (6).

2) Bethe (2).

einen greifbaren Kern. Wir erhalten einen Inhalt im Nerven system, der sowohl Druckwellen leiten kann, als seiner Menge nach beweglich ist. Der Aufbau des Nervensystems läſst sich dann als eine Summe eigenartig miteinander verbundener Gefäſse dieses Tonus auffassen, die ihren Inhalt sowohl dem Druck wie der Menge nach gegeneinander ausgleichen und austauschen.

Einem jeden Vorgange im Nervensystem entspricht dann ein anschaulicher körperlicher Vorgang, der sowohl der Kritik wie dem Versuch zugänglich wird. Um einen Einblick in dieses eigenartige System von Gefäſsen und Röhren zu erhalten, müssen wir dort beginnen, wo wir stehen geblieben waren — beim Muskelnerven. Wir fragen jetzt, wohin mündet der Nerv bei seinem Eintritt ins Centralnervensystem?

Der Versuch lehrte uns, daſs im normalen Tier der Schnitt durch den Nerven eine Herabsetzung des Tonus im Nerven und eine Verlängerung des Muskels zur Folge hat. Schneiden wir den Bauchstrang dagegen quer in kleine Stücke, so zeigt es sich, daſs die Nerven, die noch ein kleines Bauchstrangstück behalten, keinen Tonusfall zeigen. Dadurch wird bewiesen, daſs ein Organ, das den Tonus im Muskel beherrscht, gleich an der Eintrittsstelle der Nerven im Bauchstrang liegt und entsprechend klein ist.

Das Gleiche läſst sich auch folgendermaſsen beweisen. Ein kleiner Kokainkrystall auf den Bauchstrang eines aufgeschnittenen Tieres gelegt, ruft in einem Bezirk, der dem Verbreitungsgebiet des nächsten Muskelnerven entspricht, Tonusfall hervor. Ein dünnes Band der Körpermuskulatur, das senkrecht zum Bauchstrang steht, erschlafft deutlich gegenüber der übrigen Muskulatur. Das Gleiche geschieht, wenn man ein Häufchen Sipunculusblutkörper, die man vorher mit Kohlensäure behandelt hat, bis sie deutlich gelb geworden sind, dem Bauchstrang aufträgt.

In beiden Fällen wird keine dauernde Schädigung gesetzt, noch die Reizleitung unterbrochen. Anfangs kontrahieren sich die erschlafften Muskeln noch mit, bei den allgemeinen Körperbewegungen, dann bleiben sie dauernd erschlafft und schlieſslich geht die ganze Wirkung wieder zurück.

Ein Chloralkrystall dagegen läfst die Muskulatur erschlaffen, tötet aber zugleich den Bauchstrang, der dauernd undurchgängig bleibt.

Ein Kochsalzkrystall ruft eine sehr starke, ringförmige Einschnürung des Muskelbandes hervor, wobei sich sowohl Längsals Ringmuskel verkürzen.

Alle diese Mittel, dem Nerven direkt appliziert, wirken blofs lokal, entweder wie Kokain die Leitung störend, oder sie rufen eine lokale Muskelkontraktion hervor, wie das Kochsalz, aber sie sind niemals imstande, das ganze Muskelband zu beeinflussen.[1]

1) Die einschlägigen anatomischen Daten sind folgende: Vom Bauchstrang gehen, wie wir wissen, paarweis in ziemlich regelmäfsigen Intervallen nach rechts und links Nerven senkrecht ab. Jeder vom Bauchstrang abgehende Nerv gibt während seines ganzen Verlaufes Äste an Längs- und Ringmuskeln ab. Auf dem Rücken vereinigt er sich scheinbar mit seinem vis-à-vis, so dafs man den Eindruck erhält, als sässen gleichmässige nervöse Reifen dem Bauchstrange auf. Reizt man aber einen Seitennerven an beliebiger Stelle elektrisch, so kontrahiert sich blofs der Muskelstreifen der einen Seite bis zu einer unsichtbaren Linie, die dem Bauchstrang gegenüber dem Tier entlang läuft. Diese Linie ist nicht immer gerade, sondern kann im Zickzack verlaufen und ist auch nicht immer ganz distinkt, sondern oft mehr oder minder verstrichen.

Sehr auffallend für unsere gewohnte Anschauung ist es, dafs die elektrische Reizung immer den ganzen einseitigen Muskelstreifen zur Kontraktion bringt, während wir nach den Erfahrungen an den Wirbeltieren annehmen müfsten, dafs nur die peripher von dem Reizort liegenden Muskeln mitspielen dürften. Dies ist, wie gesagt, hier anders. Es wird immer der ganze einseitige Muskelstreifen, mag der Bauchstrang noch erhalten sein oder nicht, sich gleichmäfsig kontrahieren. Wer die wirbellosen Tiere kennt, wird



Fig. 9. Fig. 10.

dieses weniger erstaunlich finden, weil sich bei ihnen netzförmige Nervenausbreitungen überall vorfinden. Beim Sipunculus jedoch müssen wir einen speciellen Fall annehmen. Erstens müssen zwei Nervennetze in einem Muskelnerven miteinander verlaufen, da die Tiere Ring- und Längsmuskeln getrennt innervieren können. Wir können uns das, wie auf Fig. 9 zu sehen ist, schematisch verdeutlichen. Es scheint aber sicher, dafs die Tiere auch die Längsmuskeln einer Seite abschnittweise erregen können. Ich mache mir daher vorläufig folgendes Bild, Fig. 10, von dem Verlauf der Fasern, indem ich auf dreierlei

Daraus dürfen wir mit Sicherheit auf ein den Tonus im Muskel beherrschendes Organ im Bauchstrang schliefsen. Dieses Organ nenne ich den Repräsentanten, nach seiner Aufgabe, die ihm unterstellte Muskelpartie, deren Tonus gänzlich von ihm abhängt, dem übrigen Nervensystem gegenüber zu repräsentieren. Was ihm geschieht, geschieht auch seinen Gefolgsmuskeln. Er vertritt, wenn man sich so ausdrücken darf, das Interesse seiner Gefolgsmuskeln gegenüber den Ansprüchen, die vom Centralnervensystem an sie gestellt werden.

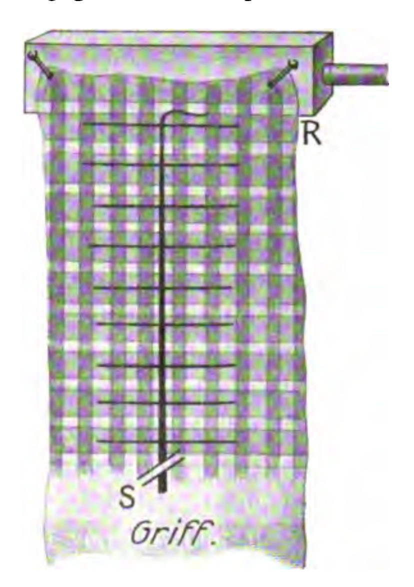


Fig. 11.

Was sich später draufsen in Form von Körperbewegungen durch die Muskelkontraktionen abspielen wird, das mufs sich vorher im Wechselspiele der Repräsentanten im Centralnervensystem zugetragen haben.

Ihre Leistungen, ihre Eigenschaften, so unbedeutend der Energieumsatz dabei sein mag, sind schliefslich ausschlaggebend für das, was im Kampf mit der Aufsenwelt vom Tier an Kraftleistungen entfaltet wird.

Unsere erste Aufgabe wird sein, Näheres über die Eigenschaften der Repräsentanten zu ermitteln, um dadurch in die Lage gesetzt zu werden, ein anschauliches Bild von ihrem Bau gemäfs unseres Schemas zu entwerfen. Ein einfacher Versuch

---

Rücksicht nehme. Erstens, dafs sie Nervenabzweigungen eines Netzes sind, zweitens, dafs die Nervenreifen überall gleich dick sind, und drittens, dafs immer das ganze einseitige Muskelband bei elektrischer Reizung des Nerven antwortet. Die ursprünglich einheitlichen Stammverzweigungen *a*, *b*, *c* in Fig. 10 sind gleich lang, geben aber jede an anderer Stelle ihres Verlaufes die Endbäume ab. Jeder Stammbaum wird von einem speciellen Centrum im Bauchstrang berrsehcht zu denken sein.

ist es, der uns in seinem übersichtlichen Ablauf über einen grofsen Teil der Funktionen der Repräsentanten aufklärt.

Man schneide ein Tier unter den gewöhnlichen Kautelen der Länge nach dorsal auf und lasse es, nachdem das Blut abgespült und der Darm entfernt ist, über Nacht in Seewasser liegen. Falls es kein sehr frisches Exemplar ist, kann man auch gleich nach dem Ausschneiden zum Versuch schreiten.

Der Körper wird unterhalb des Ansatzes der Retraktoren durchgeschnitten, dann wird von oben der Bauchstrang eine kleine Strecke weit abgehoben, damit die Nadeln, mit denen man das Vliefs aufhängt, keine Reflexe auslösen können. Das Vliefs wird mit der Innenseite zum Beobachter, wie Fig. 11 (Seite 307) abgebildet, frei aufgehängt. Hin und wieder begiefst man es mit Seewasser, um es vor dem Austrocknen zu bewahren. Die Hauptbedingung für das Gelingen des Versuchs ist folgende. Die Muskeln müssen sich weder aufrollen, noch anderweitig kontrahieren. Meist genügt es, dem Präparat ein kleines Gewicht anzuhängen, um die gewünschte Erschlaffung zu erzielen. Nun schneidet man oberhalb der Mitte des Griffes den Bauchstrang einmal quer durch. Es bildet sich dann oralwärts vom Schnitt *(S)* ein kleiner Kontraktionstreifen in der Muskulatur, der aber bald abschwillt.

Jetzt fahre man mit einer Borste oder einer Nadel bei *R.* einmal quer über die äufsere Haut. Meist bedarf es blofs eines leisen Striches, je nach der Empfindlichkeit des Präparates wird man die Reizstärke steigern. Bei unempfindlichen Objekten kann man sogar einen Salzkrystall zur Reizung verwenden. Der Effekt einer solchen schwachen Reizung ist folgender. An der Durchschnittsstelle bei *S.* bildet sich ein kleiner Wulst, der, von hinten nach vorne wachsend, schnell an Breite zunimmt und schliefslich bei stärkerem Reiz die ganze Muskulatur bis *A.* hinauf umfassen kann. Unterdessen hat sich an der Reizstelle selbst etwas Eigentümliches zugetragen. Es hat sich ein Verdünnungsband[1])

1) Am unverletzten Tier ist es leicht durch lokale Reizung die Verdünnung an der Reizstelle zu demonstrieren. Es bildet sich dann eine ringförmige Vorwölbung der erschlafften Muskulatur, die dem Binnendrucke geringeren

gebildet, d. h. der Tonus ist in einer bestimmten Strecke zum Absinken gekommen, während er sich unten bei *S.* steigerte. Wenn der Reiz stark war, so überschreitet die rückläufige Kontraktion die ganze Strecke und bringt auch die Muskeln des Verdünnungsbandes nachträglich zur Verkürzung und Verdickung.

Geht man mit der Reizung weiter abwärts, so ändert sich an dem Bilde weiter nichts, als dafs auch oralwärts jenseits des Verdünnungsbandes sich häufig eine leichte Kontraktion zeigt, die aber verstrichen ist und nicht von der oberen Schnittfläche aus beginnt, sondern gleich hinter dem Verdünnungsband anhebt.

Bleibt man mit der Reizung an gleicher Stelle, schneidet aber den Bauchstrang oberhalb der alten Schnittfläche nochmals durch, so spielt sich alles wie vorher ab, nur beginnt die Kontraktion an der neuen Schnittstelle.

Kommt man mit der Schnittstelle dem Reizort zu nahe, so tritt keine Verdünnung mehr ein, sondern an der Reizstelle selbst bildet sich sofort die Kontraktion.

Hängt man das ganze Vliefs umgekehrt auf, mit dem Wurmende nach oben, so spielt sich ganz das Gleiche wie vorher ab. An der Schnittstelle, die im Griff liegt, tritt die Kontraktion ein, und an der Reizstelle die Verdünnung.

Reizt man imGriffe selbst, so bildet sich ein Verdünnungsband an der Reizstelle, aber gleich dahinter jederseits die Kontraktion.

Es ist übrigens zu bemerken, dafs man die Reizung sowohl einseitig wie beiderseitig vom Bauchstrang ausführen kann, ohne am Resultat etwas zu ändern.

Dieser einfache und übersichtliche Versuch liefert uns eine Fülle von Einzelerscheinungen, die jede einzelne auf ihren Wert geprüft werden mufs.

1. Um mit der letzten Bemerkung zu beginnen, so beweist uns die Thatsache, dafs eine Reizung an einer Seite des Tieres immer die Muskeln der beiden Seiten zur Erregung bringt, dafs

---

Widerstand entgegensetzt. Das Auftreten des Ringwulstes dient dazu, Fremdkörper abzustreifen, deren Druck als Reiz wirkt. Der Fremdkörper rutscht von dem Berge herab, um im Tal einen neuen Berg hervorzurufen, der ihn immer weiter schiebt.

aufser den Längsverbindungen auch eine Querverbindung der Repräsentanten im Bauchstrang bestehen mufs.

2. Die Eigentümlichkeit, dafs auf jeden Reiz, mag er vorne oder hinten gesetzt werden, immer zuerst im Griff eine Kontraktion entsteht, gleich als ob jede Erregung leichter hierher als anderswohin fliefsen würde, nenne ich die Erscheinung des Tonusthales.

3. Das Phänomen, das uns lehrt, dafs die einmal gesetzte Erregung, die durch den Schnitt verhindert wurde, im Bauchstrang weiter abzufliefsen, statt dessen in die Seitennerven tritt, nenne ich die Entgleisung.

4. Wenn nach der Entgleisung und Kontraktion des untersten Muskelbandes das nächste und dann das vornächste Muskelband in umgekehrter Richtung zum ursprünglichen Erregungsablauf in Kontraktion gerät, so nenne ich das die Rückstauung, und führe sie auf

5. Tonuswurf und auf

6. Klinkung zurück.

7. Wenn an der Reizstelle eine Erschlaffung der Muskulatur eintritt, so nenne ich das, entsprechend meinen Erfahrungen an den Seeigeln, die starke Reflexform.

8. Endlich nenne ich die Thatsache, dafs bei Reizung in gröfserer Nähe der Schnittfläche keine Erschlaffung des Muskelbandes, sondern gleich eine Zusammenziehung eintritt, die Umkehr des Reflexes.

Für unsere Untersuchung ist der letzte Punkt von grofser prinzipieller Bedeutung. Man wird sich sogleich der ganzen Tragweite klar werden, wenn man im Schema betrachtet, was der Versuch besagen will. Vom Receptionsorgan R geht eine Erregung aus, sie langt in C an und setzt, solange die Centren C^1 und C^2 noch vorhanden sind, im Muskel M eine Hemmung. Dagegen tritt in M, wenn die Centren C^1 und C^2 abgeschnitten sind, eine Kontraktion ein. Also das Mitspielen von Centren, die gar nicht im Reflexbogen eingeschaltet sind, ist ausschlaggebend dafür, ob im Muskel eine Kontraktion oder eine Hemmung eintreten wird.

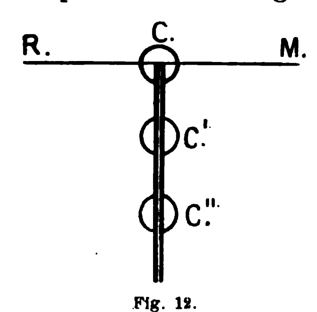


Fig. 12.

Diesen Versuch habe ich abgewartet, um auf eine noch allgemein herrschende Theorie einzugehen, welche die Existenz von Hemmungsfasern annimmt. Durch meine bisherigen Erfahrungen an den Seeigeln war die Existenz von Hemmungsfasern bereits in Frage gestellt worden. Hier ist es aber möglich, den Beweis zu erbringen, dafs es Hemmungen gibt, an denen keine Hemmungsfasern beteiligt sind. Schon die Thatsache, dafs es niemals gelingt durch Reizung eines rein motorischen Nerven Erschlaffung der Muskeln zu erhalten, mufste ihre Existenz sehr zweifelhaft machen. Nur ein Centrum vermag Erschlaffung in seinen Gefolgsmuskeln hervorzurufen.

Am Seeigelstachel habe ich zeigen können, dafs normalerweise auf starken Reiz Erschlaffung, auf schwachen Reiz hingegen Kontraktion in den Muskeln eintritt, während die gleichen Muskeln, wenn man sie durch Abziehen der Haut ihrer Centren beraubt hat, immer nur mit Kontraktion antworten. Hierbei wird aber immer noch im zuführenden Nerven selbst eine Änderung gesetzt, die dann das Centrum veranlassen kann, die Erregung einmal in die Hemmungsfasern, das andere Mal in die Verkürzungsfasern einzuleiten.

Beim vorliegenden Versuch geschieht aber im Reflexbogen nichts. Das Centrum erhält in jedem Falle die gleiche Erregung. Durch welchen Umstand kann es beeinflufst werden, trotzdem anders zu handeln? In dem einen Falle sind, wie wir sahen, noch ein paar abliegende Centren vorhanden, die auch Erregungen erhalten, im anderen Falle ist der Weg für diese sekundäre Erregung abgeschnitten. Nach der bisherigen Auffassung liegt kein Grund vor, warum die Hemmungsfasern nicht auch im zweiten Fall ansprechen sollten. Aber der Versuch mit dem ganzen Vliefs lehrt uns, dafs wir nicht allein die Hemmungsfasern, sondern auch den Begriff der Erregung fallen lassen müssen. Nach der bisherigen Fassung des Begriffes »Erregung« gehörte es zu den Unmöglichkeiten, dafs eine Erregung, deren normaler Weg abgeschnitten war, nach rückwärts auf ihren Ursprungsort einen Einflufs ausübte. Man nahm an, dafs bestimmte Bahnen die Erregung nach bestimmten Orten leiten. Waren diese Bahnen durchschnitten, so war die Erregung tot.

Jetzt zeigt es sich, dafs das nicht der Fall ist. Bei Durchschneidung des Bauchmarkes tritt die Entgleisung auf, d. h. die Erregung, die nicht vorwärts kann, bricht seitwärts aus und kehrt dann einfach um, in die eben durchlaufenen Bahnen zurück, wie uns die Rückstauung lehrt.

Den Grund der Rückstauung werden wir in einer Eigenschaft der Centren sehen müssen, die ich unter dem Namen der Klinkung beschrieben habe, und die sich darin äufserte, dafs der erhöhte Tonus die Schwelle für jede nachfolgende Erregung bildete. So sehen wir auch hier, nachdem in den untersten Repräsentanten eine Tonussteigerung stattgefunden hat (die wir aus der Verkürzung ihrer Gefolgsmuskeln erschliefsen), dafs die nächst höheren Repräsentanten in Tonus geraten u. s. f. Dies zwingt uns, mit der bisherigen Erregung zu brechen und uns eine Flüssigkeit vorzustellen, die in einem Rohr hinabläuft, welches zahlreiche Seitentaschen trägt. Sind die untersten Seitentaschen voll gelaufen, so füllen sich die nächst höheren u. s. f. Wir werden versuchen, auch die übrigen Thatsachen mit diesem einfachen Bild in Einklang zu bringen. Scheinbar genügt es auch, um uns die Reflexumkehr an der Reizstelle zu erläutern. Man dürfte annehmen, dafs die oberen Säcke durch Heberwirkung erst geleert werden, nachher aber, wenn die Flüssigkeit wieder nach oben steigt, sich füllen.

Aber das Bild widerspricht dennoch den Thatsachen. Von einem Oben und Unten kann nur gesprochen werden in den Fällen, wo der Griff mit einer entfernter gelegenen Partie des Wurmes verglichen wird. Werden dagegen zwei Stellen am Griff selbst miteinander verglichen, so kann weder von einem Oben noch Unten, noch von einer mitreissenden Strömung gesprochen werden und trotzdem bildet sich an dem Reizort eine Erschlaffungszone, somit müssen wir diese einfache Erklärung fallen lassen. Sie genügt wohl, um die Entgleisung und Rückstauung anschaulich zu machen, auch genügt sie, um die Reflexumkehr zu deuten, falls diese bei Reizung nahe der Schnittfläche durch Entgleisung des Tonus unmittelbar am Ort seiner Entstehung eintritt. Um aber über das Auftreten der Er-

schlaffungszone Aufschlufs zu gewinnen, auch in Fällen, wo keine Niveaudifferenzen mitspielen können, genügt der einfache Vergleich des Tonus mit einer Flüssigkeit nicht.

Versuchen wir es hingegen mit dem schon erprobten Tonusschema direkt an die Erscheinungen heranzugehen, so wird sich uns folgendes erschliefsen. Auf einen Reiz hin entsteht in der Partie des Bauchstranges, in die der centripetale Nerv mündet, eine starke explosionsartige Tonusentwickelung.

Diese erzeugt einen allgemeinen Seitendruck, während die Menge rasch abfliefst. Auf den Druck hin antworten die Repräsentanten mit einem Tonusfall und mit einer Erschlaffung ihrer Gefolgsmuskeln. Die Menge des neu entstandenen Tonus fliefst unterdessen ab und tritt, sobald ihr der Weg versperrt ist, seitlich in den nächsten Repräsentanten ein, hier ruft sie eine Tonussteigerung hervor, die die Muskeln zur Kontraktion bringt. Ist der Tonusmenge gleich von Anfang an der Weg versperrt worden, so tritt sie gleich in die ersten Repräsentanten ein und ruft anstatt Erschlaffung Kontraktion in den Gefolgsmuskeln hervor. Hierdurch werden zwei wichtige Daten festgelegt, die wir zum schematischen Aufbau der Repräsentanten benutzen müssen: Tonusdruck ruft im Repräsentanten einen Tonusfall hervor, dagegen Tonusmenge eine Tonussteigerung.

Noch ein prinzipieller Faktor, der sich aus dem Versuch ergibt, mufs vorher abgehandelt werden. Da auf einen stärkeren Reiz die Rückstauung so stark werden kann, dafs die Kontraktion selbst über den Reizort hinüber das ganze Verdünnungsband ergreift, so ergibt sich, dafs eine Gegenkraft thätig ist, welche die Rückstauung unterstützt, denn wenn von Anfang an so viel Tonus geliefert wurde, um die ganze Länge des Bauchstranges auszufüllen, so mufste auch an der Reizstelle sofort Kontraktion eintreten, weil dann von Anfang an die genügende Menge da war, um alle Repräsentanten aufzufüllen. Statt dessen ist gerade bei starken Reizen das Auftreten der Verdünnungszone eine der sichersten Erscheinungen.

Von wem sollte aber diese Gegenkraft ausgehen, wenn nicht von den Repräsentanten selbst, die sich des überflüssigen Tonus,

der ihre Gefolgsmuskeln zu einer dauernden Kontraktion zwingen würde, rechtzeitig entledigen (Tonuswurf).

Das sind die Daten, mit Hilfe derer ich beistehendes Schema eines Repräsentanten (Fig. 13) entworfen habe. Wie man sieht, erinnert der Repräsentant an den Raum für freien Tonus im Muskelschema. In der That zeigen sich viele gemeinsame Eigenschaften. Beiden müssen wir wechselnde Kapazität zusprechen und bei beiden wird die Kapazität durch die Arbeitsleistung der Tonusmenge verkleinert. Wie wir annehmen mufsten, flofs der Tonus in den Repräsentanten hinein und rief daselbst eine Tonussteigerung hervor, und wurde darauf vom Repräsentanten wieder hinausgedrängt.

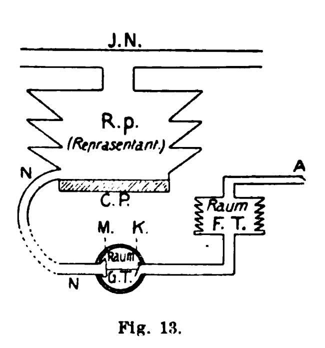


Fig. 13.

Das deutet darauf hin, dafs der Tonus im Repräsentanten eine dauernde Arbeit zu leisten hat, nämlich die Kapazität des Raumes zu verringern. Mögen wir uns nun diese Arbeitsleistung nach Analogie einer Kondensmaschine denken, in der die heifsen Wasserdämpfe auf die schwere Kondensplatte *C P* am Boden treffen (hierdurch erzeugen sie ein Vakuum und die Platte wird gehoben), oder mögen wir uns nach dem im Muskelschema gebrachten Vergleich vorstellen, dafs der Tonus verbrannt wird und dabei Verkürzungsarbeit leistet — in jedem Falle mufs ein Tonusverbrauch im Repräsentanten stattfinden, der wohl verschwindend ist gegenüber dem Tonusverbrauch im Muskel, aber immerhin uns einen Fingerzeig gibt, wo der Tonus bleibt, der im Nervensystem erzeugt wird.

Denken wir der Bequemlichkeit halber erst an die schwere Kondensplatte, die durch die andauernde Kondensierung von Wasserdampf in der Schwebe erhalten wird. Eine bestimmte Menge Tonus in der Zeiteinheit wird nötig sein, um sie andauernd in der gleichen Lage zu erhalten. Der geringste Druck auf die Platte, der nicht zugleich einer Zufuhr von frischem Verbrauchsmaterial entspricht, wird die Platte rettungslos zum

Sinken bringen und einen schweren Abfall des Druckes zur Folge haben. Ein rasch vorübergehendes Ansteigen des Druckes in der intracentralen Verbindungsröhre *IN* wird daher auf den Repräsentanten ebenso wirken, als wenn ein Zug auf die Kondensplatte ausgeübt würde, der das Lumen erweitert und dadurch einen Druckabfall bewirkt, und da man sich das Lumen des Nerven entsprechend klein gegenüber dem Umfange der Kondensplatte vorstellen darf, so wird die Erweiterung des Lumen durch den Druckabfall, den sie hervorruft, ihre tiefgreifende Wirkung bis hinab zum Muskel erstrecken. Dagegen wird der äufsere Anlafs hierzu, nämlich die Drucksteigerung im Verbindungsrohr, ohne Einflufs auf den Muskel bleiben, weil, bevor die wellenförmig ablaufende Druckwelle den Nerven durcheilt hat, bereits der schwere Tonusfall im Repräsentanten den Tonus im Nervenrohr zum Zurückströmen bringt.

Sinkt der Tonusdruck im Nerven, so tritt die Membran zurück, und da nicht mehr genügender Tonus im Raum *G T* entwickelt wird, um die nötige Verkürzungsarbeit, die zur Erhaltung der Normallänge erforderlich ist, zu leisten, so mufs der Muskel erschlaffen.

Überhaupt mufs man sich vorstellen, dafs sich in jedem Moment Tonusdruck und die zur Arbeit verwendete Tonusmenge die Wage halten. Der Druck sucht die Kapazität zu erweitern, die Arbeitsenergie sucht sie zu verringern. So bietet das ganze Schema der unter sich verbundenen Repräsentanten den Anblick eines Systemes dar, dessen einzelne Teile dauernd in labilem Gleichgewicht sind und durch jede Störung veranlafst werden, ihren Tonus gegenseitig auszutauschen. Vermutlich wird das labile Gleichgewicht in jedem Repräsentanten nur unter andauernder Oscillation aufrecht erhalten werden; dafür spricht die bereits erörterte Thatsache, dafs bei Durchschneidung der Nerven der Tonus in den Gefolgsmuskeln sinkt.

Noch auf eines macht uns das Schema aufmerksam. Wenn wir den Vergleich mit einer Kondensmaschine weiter ausführen, so kann man sich verschieden gebaute Repräsentanten vorstellen, von denen der eine Teil eine grofse Platte, die sehr viel Dampf

kondensiert, besitzt, ein anderer Teil dagegen mit einer kleinen Platte, die nur wenig Dampf im Wasser verwandeln kann, versehen ist. Die ersten werden sich viel energischer zusammenziehen und höheren Druck im Nerven erzeugen können als die anderen. Dafür wird ihr dauernder Verbrauch an Tonusmenge ein sehr viel höherer sein müssen. Der Tonusverbrauch mufs durch das Nachströmen aus dem System der verbindenden Röhren gedeckt werden, und dieses kann zu einem geregelten Tonusstrom Anlafs geben. Unter der Voraussetzung, dafs stets die gleiche Menge Tonus von anderwärts in das Rohrsystem nachgeliefert wird, mufs sich vom Ort des geringeren Verbrauches zum Ort des stärkeren Verbrauches hin ein Dauerstrom ausbilden. Auch das Auftreten des Tonusthales läfst sich auf derartige Verhältnisse zurückführen.

b) Die Verbindungen der Repräsentanten untereinander.

Wenn wir zur Frage nach der Verbindungsart der einzelnen Repräsentanten übergehen, so ist es angezeigt, mit einem Objekt zu beginnen, das diese Verhältnisse übersichtlicher offenbart als der Sipunculus. Es ist dies der Seeigelstachel. Und zwar nehme ich als Prototyp die rotierenden Dorsalstacheln von Centrostephanus longispinus. Der Versuch nimmt sich folgendermafsen aus: Man schneidet ein Stück der Schale heraus, das einen rotierenden Dorsalstachel trägt, und entfernt dann den Radialnerven vollständig. Darauf hört nach einiger Zeit das Rotieren auf und der Stachel bleibt wie jeder andere Stachel ruhig stehen. Jetzt berühre ich leicht einen Punkt im Umkreise des Stachels mit einer dünnen Borste, sofort neigt sich der Stachel nach der gereizten Stelle zu, schlägt dann wieder zurück und bleibt nach kurzem Oscillieren ruhig stehen. Nun berühre ich nacheinander zwei sich gegenüberliegende Punkte im Umkreise des Stachels, so dafs er jetzt von zwei entgegengesetzten Seiten aus gereizt wird. Der Stachel pendelt einige Male zwischen den beiden Reizorten hin und her und wird wieder ruhig.

Werden hingegen nacheinander drei gleich weit voneinander entfernte Punkte im Umkreis berührt, so beginnt der Stachel zu

rotieren. Das Rotieren wird immer eine geraume Weile fortgesetzt. Die anatomischen Verhältnisse sind in diesem Falle möglichst einfach. Die Sperrmuskulatur[1]) ist verschwindend ausgebildet und hindert die Bewegungsmuskulatur nicht, so dafs wir es praktisch nur mit einer einzigen Muskellage zu thun haben. In der Haut des Stachels sitzt an gewohnter Stelle der nervöse Ring, der die Repräsentanten der Muskel enthält. Auf diesen Nervenring münden allseitig die Nervenbahnen der verschiedenen Hauptnervennetze ein. Die Verbindungen nach den Radialnerven sind in diesem Falle durchschnitten und spielen nicht mehr mit. Es ergibt sich daraus beiliegendes Schema (Fig. 14).

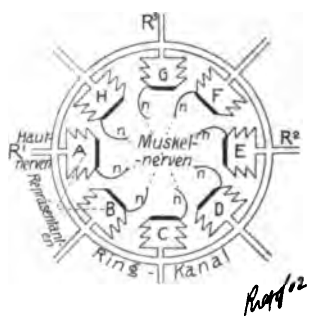


Fig. 14.

Reizt man bei R^1 mechanisch, so gibt das die schwache Reflexform, d. h. die zunächstliegenden Muskeln kontrahieren sich. Das bedeutet, dafs eine gewisse Tonusmenge von geringer Spannung in den nächstliegenden Repräsentanten *A* eingedrungen ist, dort eine Tonussteigerung hervorruft, der vermehrte Tonus wird in Arbeit umgesetzt, die Kapazität wird eingeengt, der Druck steigt, die Muskeln verkürzen sich und der überschüssige Tonus wird wieder hinausgetrieben. Hieraus erklärt sich die Thatsache, dafs dieser Reflex auch eintritt, wenn die Verbindungen zwischen *A* und seinen Nachbarrepräsentanten durchschnitten sind.

Bleibt jedoch der Ringkanal intakt, so ist dem wieder ausgestofsenen Tonus Gelegenheit gegeben, nach der anderen Seite hinüberzufliefsen, wo infolge der Neigung des Stachels nach der gereizten Seite hin die Antagonisten gedehnt worden waren. Dehnung setzt aber, wie wir wissen, einen Tonusfall im Muskel, auf den hin die Nervenmembran vorgezogen wurde. Dies ruft eine Verschiebung des Inhaltes im Nervenrohr hervor. Dem Repräsentanten wird von seinem Inhalt ein Teil entzogen. Es

1) **Hamann** (7), S. 31 u. Taf. 13 Fig. 6.

ist keine genügende Tonusmenge mehr vorhanden, um die Kondensierungsarbeit zu leisten, die Kondensplatte sinkt und der Druck fällt. (Das Centrum wird eingeklinkt, wie meine bisherige Ausdrucksweise lautete.) Infolgedessen findet der abfliefsende Tonus hier ein Thal, in das er abfliefsen kann. Haben sich nun die Repräsentanten der Antagonisten mit Tonus gefüllt, sich kontrahiert und den Tonus wieder hinausgeworfen, so ist unterdessen auf der anderen Seite durch Dehnung der Muskeln ein neues Thal entstanden und der Stachel pendelt ein paar Mal hin und her. Dieses Hin- und Herpendeln kann unterstützt werden durch eine Reizung der gegenüberliegenden Seite. Zu einem Rotieren kommt es jedoch noch nicht, weil die abfliefsende Tonusmenge im Ringkanal von der jeweilig in höherem Tonus befindlichen Stelle nach der Stelle des Tonusthales beiderseits abfliefsen kann.

Das ändert sich bei der dreifachen Reizung. Dann wird der Tonus, der nach dem zweiten Reiz die Repräsentanten wieder verläfst, im Ringkanal vom abfliefsenden Tonus des ersten Reizes in einer bestimmten Abflufsrichtung mitgenommen. Dieses verstärkt sich beim dritten Reiz; infolgedessen beginnt der Inhalt im Ringkanal in einer bestimmten Richtung zu kreisen. Zum Tonusthale, das sich an dem jeweils gedehnten Muskelrepräsentanten findet, fliefst der Tonus nur aus einer Richtung zu, und wenn sich die Repräsentanten an dieser Stelle kontrahiert haben, so fliefst der Tonus im gleichen Sinne wieder ab. Sehr interessant ist es, dafs man durch Aufhalten des Stachels der kreisenden Welle ein Hindernis setzt, das sie veranlafst, nun in umgekehrter Richtung den Stachel zu drehen.

Wir haben hier zum erstenmal einen Einblick in ein neues Phänomen erhalten, das ich das K r e i s e n d e r T o n u s m e n g e nenne und worauf vermutlich ein grofser Teil der rhythmischen Bewegungen im Tierreiche beruht.

Beim Kreisen der Tonusmenge spielen die beiden Funktionen der Klinkung und des Tonuswurfes gemeinsam mit, ohne dafs man sie deshalb verwechseln dürfte. Die Klinkung bezieht sich immer auf das Verhältnis der Tonusmenge im Repräsentanten

zur Tonusmenge im intracentralen Kanal. Ist die Menge im Repräsentanten so bedeutend, dafs vom Kanal kein Tonus momentan oder auf die Dauer mehr zufliefsen kann, so nennen wir diesen Repräsentanten ausgeklinkt. Ist dagegen die Menge des Tonus gering, so dafs der Repräsentant begierig neuen Tonus aufnimmt, so nennen wir ihn eingeklinkt. Im Moment, da das Auswerfen des Tonus erfolgt, ist selbstverständlich der Repräsentant immer ausgeklinkt, und insofern wird die Klinkung immer Hand in Hand mit dem Tonuswurf gehen. Es gibt aber auch Fälle von Ausklinkung, wo vom Tonuswurf nicht die Rede ist. So sind die Repräsentanten an den Hauptstacheln von Sphärechinus dauernd für die normalen Reize ausgeklinkt, die die Radialnerven passiert haben, und erst die Dehnung der Muskeln klinkt die Centren zeitweilig[1]) ein. Im Hautnervensystem der Seeigel scheinen die Repräsentanten ohne weitere Vorrichtung dem allgemeinen Röhrensystem angeschlossen zu sein, das seinerseits nach allen Richtungen gleichmäfsig passierbar ist. Es fragt sich, ob das Gleiche auch für Sipunculus gilt.

Damit tritt wieder eine Frage von principieller Bedeutung an uns heran. Wir haben bereits im Muskelschema ein Ventil einschieben müssen. Jetzt wird es sich zeigen, dafs wir ein Recht zu diesem Vorgehen besafsen.

Infolge glücklicher Umstände ist es möglich, durch verschiedenartige Beeinflussung des Gehirnes von Sipunculus Erscheinungen zu erhalten, welche eindeutig auf die Anwesenheit ventilartiger Apparate schliefsen lassen.

Über die Bedeutung des Gehirnes von Sipunculus werden wir erst später Näheres erfahren. Jetzt genügt die Angabe, dafs die Repräsentanten der Retraktoren weder im Gehirn noch in den Kommissuren zu suchen sind, sondern erst im freien Bauchstrang auftreten. Als entscheidend für die Annahme der Existenz eines Repräsentanten galt der Tonusfall in den Gefolgsmuskeln. Für die Anwesenheit von Retraktorenrepräsentanten im Bauchstrang entscheidet der Versuch der Kommissurendurchschneidung eindeutig. Das Abtrennen des Gehirnes bleibt ohne Wirkung auf

1) Uexküll, (14).

die Länge der Retraktoren, während die Durchtrennung der Kommissur an der Bauchstrangseite die Muskeln sofort erschlaffen läſst.

Wenn wir ein reines Hirnretraktorenpräparat betrachten, so läſst sich diesem nichts Unerwartetes entnehmen. Es schreibt sowohl isometrische wie isotonische Kurven, die superponiert sein können, oder in Tetanus übergehen, je nachdem wie rasch die Reize aufeinanderfolgen. Kurz, es benimmt sich wie ein gewöhnliches Nervmuskel-Präparat. Reizt man hingegen das Hirn nicht mechanisch, sondern mit Induktionsschlägen, die man sorgfältig abstuft, und beginnt mit unwirksamen Schlägen allmählich steigernd, bis die ersten kräftigen Kontraktionen ausgelöst werden, so zeigt sich, daſs das Präparat eine refraktäre Periode besitzt.

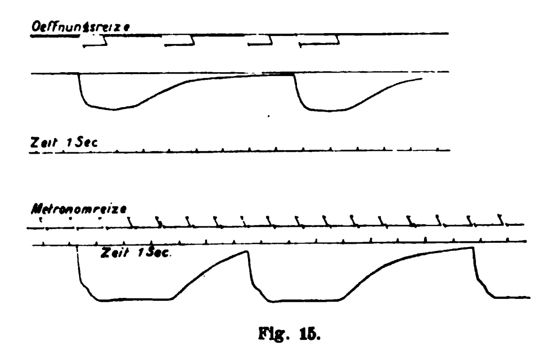


Fig. 15.

Steigert man die Reizstärke oder die Reizfrequenz, so hört diese Erscheinung bald auf, die aber im übrigen durchaus nicht hinfällig ist, sondern lange anhält (Fig. 15). Voraussetzung bleibt, daſs die Muskeln prompt und energisch antworten.[1]) Die Erscheinung der refraktären Periode läſst sich durch folgendes Hilfsmittel verstärken. Man schneide die Kommissur am freien Bauchstrang einseitig durch, so daſs, wie aus der

1) Zum Schreiben dienen die beiden dem Hirn benachbarten Retraktoren, zwischen denen ein Stückchen Darm verbleibt, durch das eine Stecknadel gespieſst wird. Eine andere Nadel steckt im Rüssel und zwei weitere rechts und links in der Mitte der anderen beiden Retraktoren; so wird das Hirn von vier Seiten aus gehalten, ohne lädiert zu werden. Als Elektroden dienen ganz feine, spiralig gerollte Silberdrähte, die beiderseits dem Hirn angelegt werden und den Verschiebungen des Hirnes folgen.

Zeichnung (Fig. 16) ersichtlich ist, nur noch die Retraktoren 3 und 4 mit dem Bauchstrang in Verbindung bleiben. Die Retraktoren 1 und 2 stehen nur noch mit dem Hirn in Zusammenhang.

Jetzt tetanisiere man mit schwachen Schlägen den Bauchstrang bei *R*. Auf diesen Reiz antworten nur noch die Retraktoren 3 und 4 mit leichter Kontraktion. Schlägt man jetzt auf das Hirn mit einem dünnen Pinsel, so kontrahieren sich alle vier Retraktoren. Die refraktäre Periode ist aber jetzt sehr merklich geworden. Erst wenn die Muskeln 1 und 2 ganz ab-

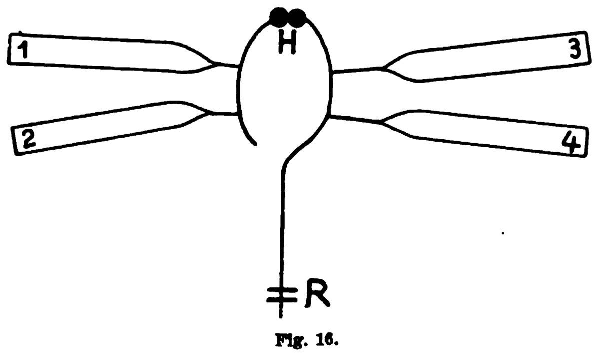


Fig. 16.

gesunken sind, wirkt ein neuer Schlag. Nähert man die Rollen des Induktoriums, so kontrahieren sich die Retraktoren 3 und 4 immer stärker, und wenn sie ad maximum kontrahiert sind, dann bleibt jede Wirkung des mechanischen Reizes auf die ganz unbeteiligten Retraktoren 1 und 2 aus, die sofort wieder eintritt, wenn mit dem Tetanisieren bei *R* aufgehört wird und die Retraktoren 3 und 4 wieder erschlaffen.

Dieser Versuch ist so einfach und sicher, dafs er sich zum Vorlesungsversuch eignen würde, und dabei aufserordentlich überraschend. Wir tetanisieren zwei selbständige Muskeln und verschliefsen zwei anderen ganz unbeteiligten Muskeln dadurch die Möglichkeit, auf ihrem normalen Wege erregt zu werden. Natürlich bleiben die beiden Retraktoren 1 und 2 für direkten Muskelreiz allezeit gleich erregbar. Geht man mit der tetanisierenden Reizung am Bauchstrange noch weiter in die Höhe, so vernichtet man diese Hemmvorrichtung und die Retrak-

toren 1 und 2 sind dann ganz dem Einflusse des Bauchstranges entzogen.

Wir wissen nun, daſs die Einrichtung, welche die refraktäre Periode bei einfacher Hirnreizung hervorrief, am Gehirn sitzen muſs, da sie auch von der anderen Seite aus beeinfluſsbar ist; denn nur im Gehirn kommen die beiden Reflexbögen miteinander in Kontakt.

Wir dürfen ferner annehmen, daſs die Tonussteigerung im Nervenrohr einer neuen Tonuserzeugung entgegenwirkt. Eine solche Einwirkung erläutern wir am einfachsten unter dem Bilde eines Ventiles, das durch ein Zurückdrücken den Zugang für den neuen Tonus verschlieſst. Doch kommen schon ähnliche Verhältnisse beim Tonuswurf im Repräsentanten vor, der bekanntlich auch ausklinkend wirkt, ohne uns zur Annahme eines Ventils zu zwingen.

Wir werden aber durch den zweiten Teil des Versuches dennoch veranlaſst werden, nach einem Ventil zu forschen. Da die Tonussteigerung auf der erregten Seite gar nicht auf die unerregte Seite übergreift, dennoch aber auch für diese Seite den normalen Erregungsablauf aufhebt, so ergibt sich ein Kausalnexus zwischen den beiden Erscheinungen, den wir uns unter gar keinem anderen Bilde verdeutlichen können, als durch die Verkoppelung zweier Ventile, die zwei getrennten Röhrensystemen angehören. Jedes einzelne kann durch eine Steigerung der Tonusmenge seines Systems geschlossen werden, und zwingt dabei das andere Ventil, die gleiche Bewegung mitauszuführen, ohne daſs im zweiten System eine Tonussteigerung stattfindet.

Diese Feststellung ist von grundlegender Wichtigkeit. Hier wird uns augenscheinlich bewiesen, daſs es anatomische Einrichtungen im Centralnervensystem gibt, die ihren Einfluſs von einer Nervenbahn auf die andere zu übertragen vermögen ohne Vermittelung der Erregung. Zugleich rechtfertigt diese Thatsache unsere materielle Auffassung der Erregung, denn nur bei flieſsenden Substanzen finden sich anschauliche Analoga eines solchen Vorganges. Von der Elektrizität sehe ich von vornherein ab, weil diese selbst nach Ana-

logem zu suchen gezwungen ist. Wir haben demnach das Recht, von Ventilen oder Klappen zu reden, wie wir solche in Röhren finden, in denen sich Flüssigkeiten oder Dämpfe bewegen.

So nehmen wir denn an (Fig. 17), dafs die refraktäre Periode im Hirnretraktorpräparat hervorgerufen werden kann, einmal durch den Klappenschlufs auf der gleichen Seite und das andere Mal durch den Schlufs der verkoppelten Klappe. Handelt es sich um Klappenverschlufs auf Tonussteigerung der gleichen Seite, so kann diese hervorgerufen sein durch eine Hirnreizung oder eine Bauchstrangreizung. In jedem Falle wird dafür gesorgt, dafs von aufsen keine Erregung störend in den Ablauf der Kontraktion der Retraktoren eingreifen kann.

Fig. 17.

Über die Klappen, die wir im Bauchstrang anzunehmen haben, wird später ausführlich gehandelt werden. Hier mufs auf eine weitere Eigentümlichkeit aufmerksam gemacht werden, die dafür sorgt, dafs die Retraktoren, auch von ihrer unteren Seite her, nicht an ihrer Bewegungsfolge gehindert werden.

Die Muskelfasern der Retraktoren werden nicht von einem einzelnen peripheren Nerven innerviert, sondern hängen an einem Nervennetz, das von drei Seiten (Fig. 18) aus der Reizung zugänglich ist. Nicht blofs vom Hirn und dem freien Bauchstrang aus sind die Retraktoren reizbar, wobei die Erregung die von den Kommissuren ausgehenden Nervenbahnen, welche an der oberen Spitze einmünden, passieren mufs, sondern auch von unten treten Nervenfasern, die den Ring der Körpermuskulatur innervieren, welche den Retraktoren zum Ansatz dient, in das Nervennetz der Retraktoren ein. Dadurch wird erreicht, dafs die Retraktoren nie Gefahr laufen, durch ihre eigene Kontraktion von der Körperwand abgerissen zu werden; denn die Stelle, die von der Dehnung in Anspruch genommen wird, ist auf diese Weise in den Hautmuskelschlauch verlegt, der viel widerstandsfähiger ist. Auf Reizung von oben her kontrahieren sich die Ansatzmuskeln im Hautmuskelschlauch immer mit. Anderseits dringt aber die

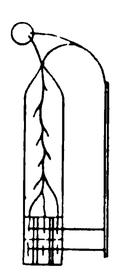


Fig. 18.

Erregung vom Bauchstrang aus durch das Nervennetz der Ansatzmuskeln in das Nervennetz der Retraktoren ein und vermag diese durch eigene Kraft zur Kontraktion zu bringen.

Durchschneidet man einem aufgespaltenen Tier, das regelmäfsige und kräftige Bohrbewegungen ausübt, im Moment, da die Retraktoren am längsten sind, einen Retraktor in der Mitte (es ist vorteilhaft, vor dem Schnitt den Retraktor etwas zu dehnen, wozu man den ansitzenden Darm benutzen kann), so werden nach dem Schnitt die beiden getrennten Hälften den allgemeinen Bewegungsrhythmus auch weiterhin mitmachen. Der untere Stumpf, der nun allein von unten her innerviert wird, antwortet auch reflektorisch auf mechanischen Reiz der Rüsselhaut mit Kontraktion.

Die Existenz einer Sicherungseinrichtung, ähnlich der eben besprochenen, die zur refraktären Periode bei der Reizung vom Hirn aus führt, besteht aber auch hier. Denn, wenn man den Schnitt durch den Muskel in dem Moment ausführt, da er die stärkste Kontraktion zeigt, so ist der nun geschaffene untere Stumpf völlig refraktär, weder folgt er dem Rhythmus seiner Brüder und seiner oberen Hälfte, noch ist er reflektorisch von der Rüsselhaut aus erregbar.

Es wird also durch den Schnitt im Moment der gröfsten Tonussteigerung im Nervennetz der Tonus in der unteren Muskelhälfte abgefangen, der normalerweise nach oben zu zu den Repräsentanten zurückfliefsen sollte. Infolgedessen ist eine Klappenvorrichtung am verwachsenen Bauchstrang (wo, läfst sich nicht genauer bestimmen) dauernd geschlossen worden, die sonst nur während der Muskelkontraktion geschlossen blieb. Es ist aber schwer, etwas genaueres hierüber zu erfahren, da es mir nie gelungen ist, die Retraktoren durch direkte Bauchstrangreizung von unten her zur Kontraktion zu bringen. Der Versuch lehrt uns, dafs von allen Seiten her die Retraktorenbewegung durch ventilartige Einrichtungen in ihrem normalen Ablauf geschützt ist.

Nun gibt es im Sipunculuskörper verschiedene Bewegungskombinationen, die ganz fest miteinander verknüpft sind, und daher den Verdacht aufkommen lassen, dafs bei ihnen gleichfalls

klappenartige Vorrichtungen im Centrum mitspielen, die ein regelloses Durcheinander verhindern.

Die eben besprochenen verkoppelten Klappen am Gehirn haben ihre biologische Bedeutung als Versicherung für den gleichmäſsigen Rhythmus in der Arbeit aller vier Retraktoren. Es wird dadurch verhindert, daſs durch einen einseitigen Reiz zwei von den vier Muskeln aus dem Takt kommen.

Ganz ähnliche Forderungen finden wir nun bei allen Bewegungen des Wurmes erfüllt. Beim normalen Bohrakt des Wurmes, den er, aufgeschnitten, mit der gleichen Sicherheit ausführt wie normal, werden wir sehr starke Sicherungsvorrichtungen annehmen dürfen, die den Tonus immer in geregelter Weise die Bahnen zu durcheilen zwingen, trotz der Fülle anormaler Reize, die auf ein aufgeschnittenes Tier eindringen. Die Existenz solcher Sicherungen tritt am auffälligsten hervor, wenn das Tier aus dem Zustand allgemeiner Kontraktion in eine normale Bewegungsfolge übergeht. Man braucht nur das normale Tier in die Hand zu nehmen oder leicht auf den Tisch fallen zu lassen, um eine allgemeine Muskelkontraktion hervorzurufen, aus der es dann fast ohne Übergang in die normalen Bohrbewegungen übergeht.

Ferner braucht man ein unverletztes Tier nur fest mit einer Pincette am Rüssel zu packen, um bald darauf an Stelle der Bohrbewegungen Schwimmbewegungen eintreten zu sehen, bei denen alle Ringmuskeln kontrahiert sind, die Längsmuskeln aber der Bauch- und Rückenseiten sich abwechselnd kontrahieren und ausdehnen.

Man wird nach den Erfahrungen an den Seeigeln geneigt sein, den Muskeln selbst einen bedeutenden regulatorischen Einfluſs zuzuschreiben. Doch sind die Verhältnisse bei Sipunculus schon bedeutend komplizierter, denn die regelmäſsigen Bewegungen des Tonus im Centralnervensystem bleiben auch dann erhalten, wenn die Muskeln entfernt sind. So wird ein aufgeschnittener bohrender Wurm mit dem Vorderende gleichmäſsig weiterarbeiten, auch wenn man rechts und links vom Bauchstrang die ganze übrige Muskulatur vom Retraktorenansatz

an bis zum Hinterende mit einem scharfen Messer weggeschnitten hat.

Ebenso kann man den Rüssel durch Querschnitte in mehrere ringförmige Abschnitte zerlegen, wobei der freie Bauchstrang intakt bleibt. Trotzdem werden sie alle im gleichen einheitlichen Rhythmus weiterarbeiten.

Schliefslich kann man alle Rüsselnerven durchschneiden und doch werden die Retraktoren im gleichen Takt weiterarbeiten, als wenn die Rüsselringmuskulatur noch vorhanden wäre, mit der sie im Tempo abwechseln.

Hieraus geht mit Sicherheit hervor, dafs die Muskeln nur eine Nebenrolle bei der Regulation der Tonusbewegungen spielen, und dafs es ihre Repräsentanten sind, die sich den Tonus gegenseitig zuschieben. Auf allgemeinen Hautreiz zeigt das normale Tier allgemeine Tonussteigerung in allen Repräsentanten. Löst sich diese allgemeine Steigerung des Tonus, so beginnt eine rhythmische Bewegung in vorbestimmten Bahnen. Die Vorbestimmung der Bahnen kann nur in einer anatomischen Eigenschaft liegen, die ventilartige Wirkungen zeitigt. Denn da alle Bahnen vom Tonus beschritten werden können, kann die Bevorzugung gewisser Bahnen nicht ihrem isolierten Verlauf zugeschrieben werden, sondern sie verlangt Vorrichtungen, die bald den Zugang öffnen, bald ihn schliefsen, oder die das Befahren bestimmter Bahnen nur in bestimmter Richtung gestatten. Beide Funktionen können in einem Röhrensystem von dem gleichen Ventil geleistet werden. Es kommt blofs darauf an, ob es am Anfang oder im Verlauf einer Röhre eingeschaltet ist. So werden wir auch für unseren Fall nach keinen weiteren Komplikationen zu suchen haben, sondern das gleiche Ventil, das wir beim Hirn kennen lernten, auch im Verlauf der Bahnen zur Anwendung gebracht denken. Experimentell den einzelnen Ventilen in den Bahnen nachzugehen, bietet fast unüberwindliche Schwierigkeiten. Unsere Methoden sind viel zu grob, um uns auf einem Querschnitte des Bauchstranges noch irgendwelche differenzierte mechanische Eingriffe zu erlauben. Dagegen können wir den Bauchstrang seiner Länge nach bequem teilen.

Hier zeigt es sich, welch ungeheuren Vorteil die Seeigel bieten, bei denen noch jedes Muskelbündel des Stachels seinen Repräsentanten unmittelbar über sich in der Haut sitzen hat. Bei den Seeigeln ist es leicht, die Verbindungen der Repräsentanten an beliebiger Stelle zu durchschneiden.

Aber dafür bilden die Repräsentanten des Sipunculus ein gemeinschaftlich arbeitendes System von Centren, zwischen denen der Tonus in bestimmten Bahnen kreist und das Tier dazu befähigt, rhythmische Arbeit zu leisten, die in einer festgeschlossenen Aufeinanderfolge verschiedener Teilhandlungen besteht.

Die ganz selbständigen Repräsentanten der Muskeln am Seeigelstachel sind, so bald es sich darum handelt, keine Einzelbewegungen, sondern Bewegungsfolgen hervorzubringen, ganz aufser stande, sich gegenseitig direkt zu beeinflussen. Sie werden auf die primitivste Weise durch die wirkliche Dehnung der Gefolgsmuskeln nacheinander eingeklinkt. So sind die Bewegungsfolgen der Stacheln in direkter Abhängigkeit von der anatomischen Anordnung der Muskelfasern.

Was für das Teilorgan gilt, gilt auch für das ganze Tier.

Ein Seeigel ist nur deswegen im stande, eine einheitliche Bewegung auszuführen, weil gleichartige Teile, von gleichem Reiz in Bewegung gesetzt, gleichartig antworten müssen. Im Hautnervensystem der Seeigel werden wir daher vergeblich nach Ventilen suchen, bei ihnen gilt für die Tonusbewegung der Satz: Der kürzeste Weg ist der beste.

So bleibt uns dennoch nichts anderes übrig, als uns an den Sipunculus zu wenden, dessen Bewegungsfolgen bereits eine völlige Befreiung von der Beschränkung durch die Anatomie der Muskulatur aufweisen, und die allein von der Anatomie des Centralnervensystems bestimmt sind.

Vorausgeschickt mufs werden, dafs ein Schema, welches die Verbindung der Repräsentanten im Sipunculusbauchstrang wiedergeben soll, darauf bedacht sein mufs, dafs alle Repräsentanten thatsächlich an dem gemeinsamen Röhrensystem teilnehmen, und

dafs es keine isolierten Reflexe gibt. Jeder Reiz kann seine Wirkung bis zur letzten Muskelfaser senden.

In diesem allgemeinen System sind gewisse Repräsentanten näher miteinander verbunden als in anderen. Das erhellt allein aus den Schwimmbewegungen, bei denen alle Ringmuskeln in Kontraktion verharren, während die Längsmuskeln allein rhythmisch arbeiten. Noch deutlicher tritt aber die Sonderung der Repräsentanten der Längs- und Ringmuskeln hervor aus den Bewegungen des Rüssels.

Bei Reizung der central abgeschnittenen Rüsselnerven erhalten wir immer eine gleichmäfsige Kontraktion beider Muskelschichten. Dagegen erhalten wir bei elektrischer Bauchstrangreizung, so lange sie nicht excessiv ist, entweder Ringmuskel- oder Längsmuskelkontraktion, nicht beide zusammen.

Wir machen uns demnach am besten folgendes Bild:

Eine Anzahl kleiner Reifen ist durch Längsstreifen in gleichen Abständen miteinander verbunden und bildet derart einen oben und unten offenen Korb. Der kleinere Korb steckt in einem völlig gleichartigen, aber gröfseren Korb drin, mit dem er durch Querbrücken verbunden ist. Alle Reifen, sowie die Längs- und Querbrücken sind hohl zu denken. Am gröfseren Korb sitzen die Repräsentanten der Ringmuskeln und am kleineren Korb die Repräsentanten der Längsmuskeln. So weit mag das Schema (Fig. 19) für das ganze Tier gelten. Über die Einzelheiten müssen wir uns durch spezielle Versuche unterrichten.

Wie schon angeführt, sind im Rüssel die Bewegungen am festesten geordnet. Wir werden hier daher am ehesten hoffen dürfen, befriedigende Antworten zu erhalten. Nur zeigt der Rüssel dem übrigen Körper gegenüber eine gewisse Komplikation, weil hier die Repräsentanten von drei Muskelsystemen miteinander in Verbindung treten, 1. die Repräsentanten der Ringmuskeln, 2. die Repräsentanten der Längsmuskeln und 3. die Repräsentanten der Retraktoren. (Fig. 20.)

Die Lage der Repräsentanten ist für die Ring- und Längsmuskulatur leicht zu finden. Sie entspricht völlig der Anordnung im übrigen Bauchstrang, d. h. an der Einmündung des Seiten-

nerven sitzen auch die Repräsentanten für seinen Verbreitungsbezirk unmittelbar an.

Über die Verteilung der Repräsentanten für die Retraktoren habe ich mir folgendes Bild gemacht. Die Retraktoren selbst sind aufzufassen als eine Menge hintereinander liegender Bündel von Längsmuskelfasern, deren Nerven zu einem einheitlichen Netz zusammengeflossen sind. Ich habe durch vorsichtiges Abtasten des Bauchstranges mit tetanisierenden Strömen nach einer isolierten Nervenleitung der einzelnen Repräsentanten zu ihren

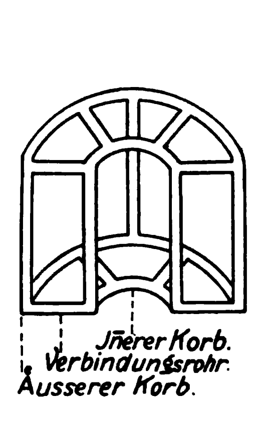


Fig. 19.

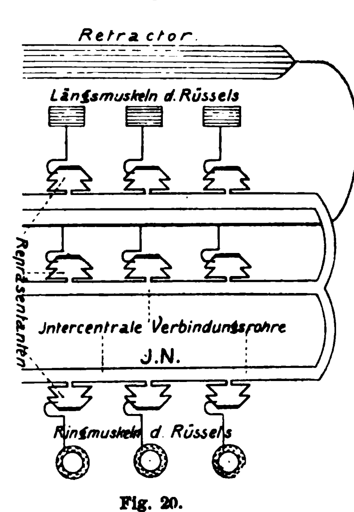


Fig. 20.

Gefolgsmuskeln gesucht. Doch habe ich, gleichgültig an welcher Stelle ich reizte, nichts anderes feststellen können, als die Neigung der Retraktoren, sich am unteren Ende zuerst oder bei sehr schwacher Reizung ausschliefslich unten zu kontrahieren Wie eine Flasche sich auch am Boden zuerst auffüllt, so kann die Wirksamkeit des Tonus auch hier am ersten zum Ausdruck kommen, wo sich durch den Widerstand gegen das Weiterfliefsen des Tonus die erste Tonusansammlung bilden mufs. Ein kleines Seitenstück zum Phänomen der Entgleisung und Rückstauung. Es scheint demnach, dafs die Nerven der Repräsentanten bereits von Anfang an verschmolzen sind, und dafs ein gemeinsames Nervenrohr sie allesamt im Bauchstrang miteinander ver-

bindet, um sich später in dem Nervennetz des Muskels aufzulösen. In dieses einheitliche Nervenrohr mündet noch ein Rohr ein, das vom grofsen intracentralen Verbindungsrohr, das den Bauchstrang mit dem Gehirn verknüpft, sich abzweigt, und schliefslich steht das Nervennetz der Retraktoren noch mit dem Nerven seiner Ansatzmuskeln in Verbindung. So kommt diese merkwürdige dreiseitige Innervierung zu stande, die auf der Abbildung (Fig. 21) wiedergegeben ist.

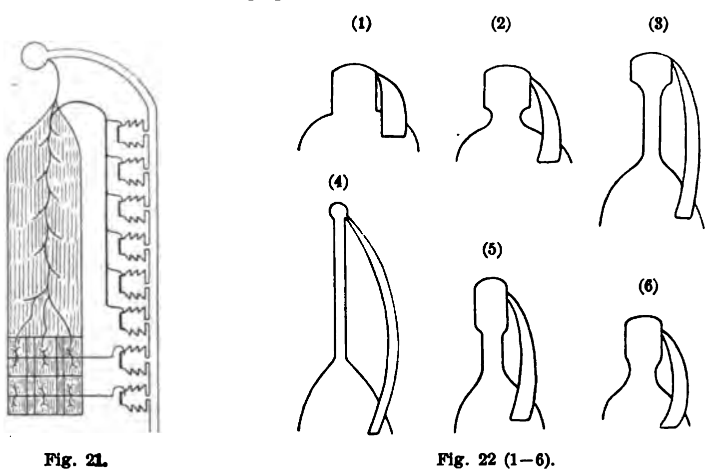


Fig. 21. Fig. 22 (1—6).

Beobachten wir nun genauer die Bewegungsfolge eines bohrenden Rüssels, so sehen wir, mit Figur 22 (1) beginnend, den Rüssel im Zustande der stärksten Längsmuskelkontraktion, während gleichzeitig die Retraktoren kurz und dick sind.

Dann entsteht in Fig. 22 (2) eine Einschnürung an der Rüsselbasis, hervorgerufen durch die Kontraktion der Ringmuskeln. Diese schreitet auf Fig. 22 (3 u. 4) vorwärts, bis sie die Rüsselspitze erreicht hat.

Jetzt tritt die Kontraktion der Längsmuskeln auf. Meist an der Spitze beginnend, gelangt sie viel schneller zur Rüsselbasis zurück. Fig. 22 (5 und 6.)

Die Retraktoren, die sich während der Ringmuskelkontraktion verlängert hatten, machen die Verkürzung der Längsmuskeln mit und schliefsen die ganze Bewegung mit einer ruckartigen Kontraktion ab, dann beginnt das Spiel von neuem.

Diese Beobachtung lehrt uns zweierlei: einmal, dafs die Retraktoren mit den Längsmuskeln sich gemeinschaftlich ver längern und verkürzen; zweitens sehen wir, dafs die Erregung der Ringmuskulatur sehr deutlich von hinten nach vorne wandert, während sie in den Längsmuskeln viel plötzlicher und allgemeiner auftritt, wenn auch im ganzen die umgekehrte Bewegungsrichtung eingehalten wird.[1]) Dies erweckt den Eindruck, dafs es sich hier um eine kreisende Bewegung des Tonus handelt, die, wie folgt, abläuft. In den Verbindungsröhren für den Ringmuskelrepräsentanten fliefst der Tonus von hinten nach vorne. Vorne angekommen, bricht er in die Verbingungsröhren der Längsmuskeln aus, um dann von vorn nach hinten abzufliefsen.

Das abgebildete Schema (Fig. 23) erläutert dieses Fliefsen mit Hilfe der eingeschalteten Ventile, es unterrichtet uns aber nicht über alle Thatsachen. Nur wenn wir uns die Klappen in dem einen Hauptrohr durch einen Gegendruck von Anfang an geschlossen denken, können wir dies beinahe mühsame Vorwärtsschreiten der Kontraktion der Ringmuskeln deuten, und verstehen auch, warum nach Überwindung dieses Druckes ein plötzliches Ausbrechen stattfinden mufs, welches in der prompten Antwort der Längsmuskeln und Retraktoren zum Ausdruck kommt. Dieses mag nun mit der Richtung des grofsen Normalstromes, der das Tonusthal am Griffe zu füllen sucht, zusammenhängen. Dieser müfste, da er von vorne nach hinten verläuft, die Klappen des einen Hauptrohres zu schliefsen suchen, dagegen die Klappen des anderen offen halten. Doch läfst sich hierüber schwer experimentieren.

Sicher dagegen ist, dafs die Bewegungsrichtung in der angegebenen Weise von vornherein für jeden neu eintretenden Tonusflufs festgelegt ist, denn eine Reizung des Hirnes hat niemals eine Kontraktion der Ringmuskeln, sondern nur der Längsmuskeln zur Folge, während eine Reizung von hinten her die Ringmuskeln zur Kontraktion zwingen kann.

1) Doch kann sich besonders bei ermüdeten Tieren die Kontraktionsfolge für die Längsmuskulatur auch umdrehen, so dafs sie an der Basis beginnt und zur Spitze geht.

Nachdem wir die Regelung des Tonusstromes kennen gelernt haben, die als ein Fundamentalbedürfnis für ein jedes Centralnervensystem, das kompliziertere Leistungen vollbringt, gelten mufs, nähern wir uns jetzt einem neuen Phänomen, das nicht ohne weiteres aus diesem Bedürfnis hergeleitet werden kann, sondern das uns durch das Experiment direkt enthüllt wird. Wie die Regelung des Tonusstromes besondere anatomische Vor-

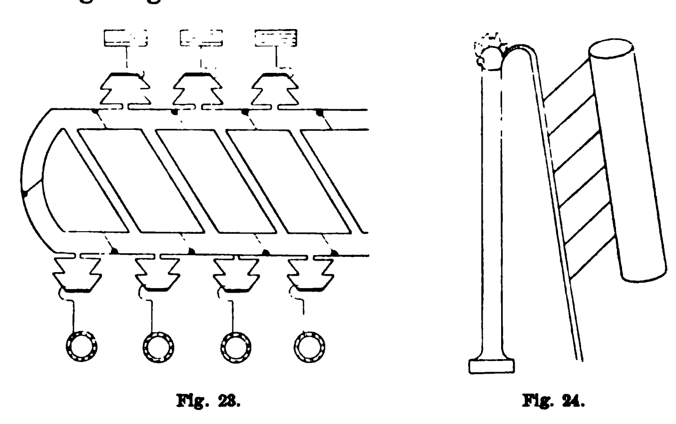


Fig. 23. Fig. 24.

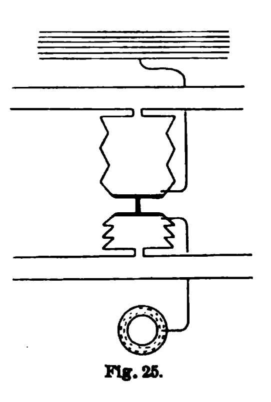
richtungen, wie Klappen, erforderte, welche die Richtung des Stromes bestimmten, so werden wir auch bei diesem neuen Phänomen anatomische Apparate folgern müssen, da sich schlechterdings aus dem Tonus und seinen Bewegungen nicht ableiten lassen. Dieses Phänomen nenne ich den Antagonismus der Repräsentanten.[1])

Man mache beistehendes Präparat (Fig. 24). Nachdem man den Rüssel oben und unten durchschnitten hat, präpariert man noch ein Stück des verwachsenen Bauchstranges heraus, bis circa zur Mitte des Tieres, und schneidet dann die Retraktoren

1) Wir sahen, welchen Einflufs die abwechselnde Dehnung und Verkürzung der Muskelantagonisten am Dorsalstachel von Centrostephanus auf das Kreisen des Tonus im Verbindungskanal der Repräsentanten ausübt. Mit der Centralisierung der Repräsentanten ist die Möglichkeit gegeben, sie immer mehr dem Einflufs der Muskelbewegungen zu entziehen; damit fällt aber auch die Regulation der Tonusbewegung durch den Antagonismus der Muskelbewegungen fort. An seine Stelle tritt eine direkte Beeinflussung von Centrum zu Centrum. Aus dem Antagonismus der Muskeln ist der Antagonismus der Repräsentanten geworden.

mit ihrer Basis aus der Körperwand heraus. Dieses Präparat ist entweder still oder in rhythmischer Bewegung.[1]) Im zweiten Fall wird ein leises Tetanisieren des Bauchstranges nahe seiner Schnittstelle keine Wirkungen ergeben. Im ersten Fall löst ein solcher Reiz eine leichte Kontraktion der Retraktoren aus, die in eine rhythmische Bewegung übergehen kann.

Kümmert man sich nun weiter nicht um diese Wirkung, sondern beginnt die Stromstärke zu steigern und nähert sich zugleich mit den Elektroden, am Bauchstrang emporsteigend, der Gegend des ersten Ballons, so sieht man, dafs die Ringmuskeln des Rüssels die Überhand gewinnen und sich kontrahieren, wobei der Rüssel sich streckt. Zugleich erschlaffen die Retraktoren. Manchmal ist in ihnen ein förmlicher Kampf zwischen Kontraktion und Erschlaffungstendenz zu sehen, schliefslich siegt die Erschlaffung.


Fig. 25.

Da die Ringmuskeln des Rüssels mit den Retraktoren in keiner Verbindung stehen, die ihnen gestatten würde, sich auf direktem Wege gegenseitig zu beeinflussen, so mufs diese gegenseitige Abhängigkeit in centralen Verhältnissen gesucht werden. Diese werden am besten durch eine spezielle Verkoppelung der Repräsentanten beider Systeme anschaulich gemacht. Wir stellen uns vor, dafs je ein Repräsentant des einen Systems je einen Repräsentanten des anderen Systems zwingen kann, eine der eigenen Bewegung entgegengesetzte Bewegung auszuführen, wie das aus der Abbildung (Fig. 25) ersichtlich ist. Fliefst nun infolge der Reizung der Tonusstrom von hinten nach vorne, durch das Röhrensystem des Rüssels, so tritt er, von den Klappen geleitet, an die Repräsentanten der Ringmuskeln heran. Sie füllen sich mit Tonus, reagieren kräftig, werfen den Tonus wieder hinaus und dehnen dabei die Repräsentanten der Retraktoren,

1) Die rhythmische Bewegung der freipräparierten Retraktoren, die ich in meiner ersten Arbeit (13) beschrieben, fällt weg, wenn man die zum Bauchstrang führenden Kommissurenhälften durchschnitten hat.

mit denen sie verkoppelt sind. In diesen wird die Kapacität gesteigert und der Tonusdruck herabgesetzt, worauf die Retraktoren erschlaffen müssen.

Der Antagonismus der Repräsentanten wird wahrscheinlich sehr allgemeine Verwendung finden können und spielt sicher im Rüssel zwischen den Repräsentanten der Ring- und Längsmuskeln die gleiche Rolle wie zwischen den Repräsentanten der Ringmuskeln und der Retraktoren.

Schneidet man im gleichen Präparat, während es sich noch rhythmisch bewegt, im Moment der höchsten Kontraktion der Längsmuskeln und Retraktoren sämtliche freie Rüsselnerven mit einem scharfen Schnitt durch, dann erhalten wir ein Präparat, das bloſs aus den vier Retraktoren und dem Bauchstrang besteht. Das Hirn spielt dabei keine Rolle. Die Retraktoren liegen meist ruhig und sind ein wenig verkürzt; jetzt suche man, mit den Elektroden den Bauchstrang entlang reizend, in der Gegend des ersten Ballons die richtige Stromstärke auf und man wird feststellen können, daſs die Retraktoren sich auf den Reiz hin verlängern. Dieses spricht wieder für die groſse Unabhängigkeit der Repräsentanten von ihren Gefolgsmuskeln, die Sipunculus den Seeigeln gegenüber auszeichnet. Auf den Reiz hin antworten wie vorhin, wenn auch unsichtbar, die Repräsentanten der nicht mehr vorhandenen Ringmuskeln und zwingen die Repräsentanten der Retraktoren nachzugeben, was in der Erschlaffung der Retraktoren zum Ausdruck kommt.

Nun folgt aber das Überraschende; nach Aufhören der Reizung kontrahieren sich die Retraktoren und zwar ganz im Verhältnis zur Dauer des vorher angewandten Reizes. Je länger man sie vorher durch direkte Reizung zur Erschlaffung brachte, um so ausgiebiger verkürzen sie sich nun. Allerdings muſs man sich auch hierbei in gewissen Grenzen halten, denn die Erschlaffung kann, wenn der Reiz zu lange fortgesetzt wird, auch schon vorher in Verkürzung umschlagen, weil es schlieſslich den Repräsentanten der Ringmuskeln doch gelingt, sich des überschüssigen Tonus auch gegen einen hohen Druck im intracentralen Rohr zu entledigen. So lange jedoch die Repräsen-

tanten der Ringmuskeln kontrahiert bleiben, zwingen sie die Repräsentanten der Retraktoren zur Erschlaffung. Im Augenblick, da mit der Reizung auch der erhöhte Druck im Röhrensystem aufhört, entledigen sich die Repräsentanten der Ringmuskeln ihres Tonus, der dann den normalen Weg weiter verfolgt, in die Repräsentanten der Retraktoren. eindringt und nun die Retraktoren zur Verkürzung bringt.

Nach dem bisher Bekannten dürften wir erwarten, dafs der Tonus zu kreisen beginnen werde, um wiederum zu den Repräsentanten der Ringmuskeln und von diesen wieder zu den Retraktoren zu dringen. In der That tritt ein rhythmisches Arbeiten der Retraktoren nicht selten ein, wenn man den Nerven des freien Bauchstranges in dem Moment durchschnitten hatte, da die Retraktoren am meisten erschlafft und die Ringmuskeln am stärksten kontrahiert waren. Es ist schwer, sich über diese auch nicht genügend konstanten Unterschiede Rechenschaft zu geben. Wir nähern uns damit Einzelfragen, in denen die individuellen Unterschiede bereits eine erhebliche Rolle spielen und für die unsere Vorkenntnisse nicht ausreichen.[1])

Trotzdem lege ich grofses Gewicht auf diesen Versuch, der, richtig ausgeführt, aufserordentlich überraschend wirkt. Wir reizen einen nervösen Strang und die einzigen vorhandenen Muskeln erschlaffen während der Reizung, um sich nach der Reizung zu kontrahieren. Hier haben wir ganz eindeutig den Fall vor uns, dafs auch das Aufhören eines Reizes eine Erregung auslösen kann. Im normalen Leben tritt uns dieser Fall bei der Reizung durch Schatten entgegen, wobei objektiv blofs der Lichtreiz fortfällt. Dieser Fall stand aber bisher ganz vereinzelt da. Jetzt haben wir die Möglichkeit, die Bedingungen zu durchschauen, die ein solches Paradoxon erzeugen. Es müssen centrale Apparate vorhanden sein, die durch die Reizung gewissermafsen geladen werden und erst nach Schlufs der Reizung losgehen. Solche Apparate habe ich bereits für den Schattenreiz in den

1) Die zuletzt angeführten Experimente gelingen nur an tadellosen Exemplaren, die auch nach den schwersten Eingriffen nicht aus dem Gleichgewicht kommen.

Radialnerven der Seeigel postuliert.[1]) Nur hätte ich jetzt die Möglichkeit, ihnen eine ganz anschauliche Form zu verleihen.

So lange es sich um Bewegungsfolgen handelte, die sich im wesentlichen der Länge des Bauchstranges nach abspielten, vermochten wir in den Bewegungsgang experimentell einzugreifen, und aus dem Ergebnis der Beobachtungen und Experimente schöpften wir unsere Anschauungen über die Vorgänge im Centralnervensystem.

Sobald sich aber ein Vorgang nur der Quere nach im Bauchstrang abspielt, hört für uns die Möglichkeit des experimentellen Eingriffes und damit auch das Interesse auf. Sich auszumalen, wie etwas sein könnte, was man nicht kontrollieren kann, ist nicht das Geschäft des Naturforschers. So gehen wir auch kurz über die beiden anderen Typen der Sipunculusbewegung, das Schwimmen und das Umdrehen, hinweg.

Wir hatten festgestellt, dafs beim Anfassen des Rüssels eines bohrenden Wurmes mit der Pincette die Bohrbewegungen aufhören, dafür die Schwimmbewegungen eintreten. Dabei kontrahieren sich alle Ringmuskeln, während die Längsmuskeln sich auf der Bauch- und Rückenseite abwechselnd rhythmisch verkürzen.[2]) Nach unserer allgemeinen Vorstellung dürfen wir den Thatbestand folgendermafsen ausdrücken. Die Repräsentanten des ganzen Ringmuskelsystems (am äufseren Korbe) stehen dauernd unter hohem Druck, während der Tonus der Quere nach zwischen den Längsmuskelrepräsentanten (im inneren Korbe) kreist.

1) Uexküll (15).

2) Während Sipunculus nudus beim Schwimmen keine definitive Richtung einhalten kann, noch Gegenständen auszuweichen vermag, scheint Sipunculus Gouldi bereits eine gewisse Meisterschaft im Schwimmen erreicht zu haben. Wenigstens schreibt Wilson (16) hierüber folgendes:

»The body was elongated to twice its ordinary length, while the proboscis was elongated even more in proportion and its edges were rolled downward and inward to as nearly to meet along the median line and from a long narrow tube, which seemed to take an active part in the swimming.

The resultant motion was peculiar being. Gyrotory or corkscrew-like, the anterior end always moving ahead, but it was perfectly free in any direction and quite rigid. Besides assisting in locomotion the proboscis also seemed to serve as a steering organ, and its extreme sensitiveness rendered it very effective in avoiding obstacles.« —

Das Umdrehen eines mit der Unterseite nach oben gekehrten Wurmes geschieht in typischen Fällen folgendermafsen: Die nach unten schauenden Längsmuskeln kontrahieren sich, dabei krümmt sich der Wurm mit beiden Enden nach unten, bildet dadurch nach unten zu eine konkave Linie, verliert das Gleichgewicht und fällt auf die Seite. Dann krümmen sich die jetzt nach unten schauenden seitlichen Längsmuskeln und der Wurm fällt noch einmal um, auf diese Weise kommt er sehr bald wieder in die richtige Lage.

Das Umdrehen läfst sich durch folgende Experimente reduzieren. Es tritt noch auf, wenn dem Tier das Hirn entfernt wurde; dadurch fallen alle Schlüsse auf eventuelle Orientierungsorgane im Hirn fort. Dagegen kann man ein Tier, das sich in einem Bassin mit Glasboden befindet, durch Beleuchtung von unten dazu bringen, sich verkehrt auf die Unterlage zu legen und mit dem Rüssel nach oben anstatt nach unten zu stofsen. Das beweist uns, dafs das Licht die Unterseite des Tieres stärker beeinflufst als die Oberseite.

Da aber ein Tier im Dunkeln stets richtig liegt, dürfen wir annehmen, dafs der Druckreiz im Gegensatz zum Lichtreiz die Haut der Oberseite allein erregt, wodurch es, wie beschrieben, zu einer Verkürzung und Krümmung des verkehrt liegenden Wurmes kommt. Der Wurm verliert das Gleichgewicht, das er erst wiederfindet, wenn er richtig liegt.

e) Tonuserzeugung und Schlufs.

Bisher haben wir uns um die Leistungen des Tonus gekümmert, ohne uns die Frage vorzulegen, woher er stammte. Wir haben gesehen, dafs die Menge des Tonus von den Repräsentanten in Arbeit verwandelt wurde, die dazu diente, dem allgemeinen Druck das Gegengewicht zu halten oder durch Tonuswurf sich der eingedrungenen Tonusmenge zu entledigen. In beiden Fällen wurde durch Einengung der Kapazität des Repräsentanten der Tonusdruck gesteigert, beim Tonuswurf so energisch, dafs die Gesamtmenge hinausgeworfen werden konnte, bei der Klinkung hingegen stieg der Druck blofs so weit, um als Schwelle gegenüber weiteren Drucksteigerungen im Rohrsystem zu dienen,

Der durch Verwandlung der Tonusmenge in Arbeit erzeugte Eigendruck des einzelnen Repräsentanten steht dauernd im Kampf mit dem durch alle übrigen Repräsentanten hervorgerufenen Gesamtdruck des Systems. Dieser Druck ist demnach in letzter Linie auf Arbeit zurückzuführen, die durch Umwandlung, d. h. Verlust von Tonusmenge geliefert wurde.

Woher stammt der Ersatz?

Wir werden gut thun, auf das Muskel-Schema zurückzugreifen. Haben wir doch gesehen, dafs sich die Repräsentanten auf den Raum für freien Tonus zurückführen lassen mit dem Unterschiede, dafs die Umwandlung des Tonus in Arbeit im Repräsentanten selbst vor sich geht, während die Arbeitsverwandlung im Muskel aufserhalb des Raumes für freien Tonus verlegt war.

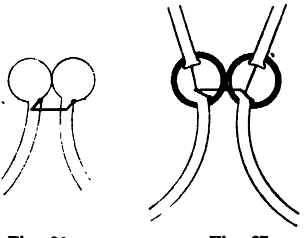
Es fragt sich nun, ob wir nach einem Raum für die Tonuserzeugung suchen dürfen, der sein Analogon im Raum für gebundenen Tonus im Muskel finden würde. Längs des ganzen Bauchstranges sind Repräsentanten vorhanden, und es ist unmöglich, die übrigen Elemente, die noch in ihm stecken, experimentell zu isolieren. Aber das Hirn enthält, wie wir sahen, keine Repräsentanten und steht dabei in enger Beziehung zu den Retraktoren, so dafs wir hier die Möglichkeit haben, auch nach den übrigen Elementen zu forschen.

Am Hirn haben wir die wichtige Thatsache feststellen können, dafs eine ventilartige Vorrichtung vorhanden ist, die es verhindert, dafs neuer Tonus in das Röhrensystem gebracht wird, wenn daselbst bereits hoher Druck herrscht. Wir finden also hier die Bestätigung für die Annahme einer Klappe zwischen dem Raum für gebundenen Tonus und dem Röhrensystem. Im Muskel-Schema hatten wir diese Klappe in völliger Abhängigkeit von der Nervenmembran gesehen. Eine Rückwirkung dagegen von der Klappe auf die Membran war nicht zu erwarten, da der Tonus frei aus dem System entwich, um in Arbeit verwandelt zu werden. So lastet niemals Gegendruck auf der Platte, der diese befähigte, die Membran zurückzustofsen.

Im Centralnervensystem ist das anders; das Röhrensystem ist allgemein geschlossen, und wenn wir den Spezialfall von

Hirn und Retraktoren im Auge behalten, so sehen wir, dafs das Röhrensystem der motorischen Nerven, das nach dem Muskel zu abgeschlossen ist, sehr wohl einen Gegendruck hervorzubringen im stande ist, der auf die Klappe drückt. Hierdurch mufs ein Druck auf die Membran des centripetalen Nerven ausgeübt werden, die eine weitere Beeinflussung dieses Nerven auf die Tonuserzeugung im Raum für gebundenen Tonus unterdrückt.

In der That sehen wir auch, dafs ein unterdrückter Reiz keine weiteren Folgen hinterläfst, wenn die Ursache, die ihn unterdrückte, geschwunden ist. So wird bei Reizung des Hirnes innerhalb seiner refraktären Periode kein Tonus erzeugt, gleichgiltig, ob die Klappe durch Tonussteigerung im eigenen Röhrensystem zurückgeschoben wurde oder ob es durch den Zwang der Koppelung von der anderen Klappe aus geschah.


Fig. 26. Fig. 27.

Es wird dadurch bewiesen, dafs wenn ein Reiz unterdrückt wird, auch die Tonuserzeugung, die er normalerweise hervorruft, nicht eintritt. Diese Erkenntnis nötigt uns, eine kleine Korrektur an einer früher gegebenen Abbildung (Fig. 26 und 27) vorzunehmen. Die Klappe am Gehirn schliefst nicht das Gehirn vom peripheren Nervensystem ab bei Steigerung des peripheren Tonusdruckes, sondern sie öffnet sich im Gegenteil dabei, um mit Hilfe ihrer Verkoppelung die Membran des centripetalen Nerven zurückzudrücken und diesen von dem Gehirn abzusperren.

Hierdurch erklärt sich die grofse Unabhängigkeit des Sipunculus gegen äufsere Reize, wenn er in einer bestimmten Thätigkeit begriffen ist, die am besten dadurch illustriert wird, dafs der aufgeschnittene und aufgespiefste Wurm genau im gleichen Tempo weiterarbeitet wie zuvor.

Falls kein Gegendruck im System vorhanden ist, spielt sich im Raum für gebundenen Tonus das Gleiche ab wie im Muskel. Der Druck der Membran des centripetalen Nerven schliefst die Klappe und erzeugt im Innern des geschlossenen Raumes Druck,

(Fig. 28.) Auf den Druck hin verwandelt sich der gebundene Tonus in freien Tonus. In ganz der gleichen Abhängigkeit von der Art der Reizung wird viel oder wenig Tonus mit hohem oder niederem Druck erzeugt werden, wie wir das ausführlich für den Muskel besprochen haben.

Da das Tier außerhalb des Sandes niemals ganz frei von äußeren Reizen ist, so wird immer ein leichter Druck auf der Membran des centripetalen Nerven lasten und daher zum Klappenschluß und zur Erzeugung von freiem Tonus führen, bis der Nervendruck mit dem Gesamtdruck des Systems im Gleichgewicht steht. Sobald aber von den Repräsentanten der Tonus zu stark verbraucht wird und der Druck im gesamten System absinkt, wird von der Erzeugungsstäte neuer Tonus nachgeliefert werden. Niemals finden wir ein normales Tier außerhalb des Sandes anders als mit kontrahierter Muskulatur, weil das Licht und die Umgebung dauernd zahlreiche Reize aussenden.

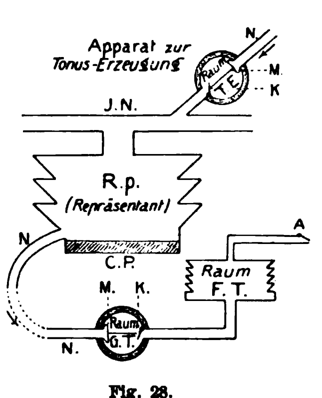


Fig. 28.

Tief im Sande, aber in der Dunkelheit in einer Röhre, die vom eigenen Schleim überzogen ist, sinken die äußeren Reize bis auf Null. Der freie Tonus verzehrt sich allmählich und schließlich liegt das Tier mit ganz schlaffen Muskeln da. Hebt man es in diesem Zustande aus dem Sande, so bedarf es erst einiger Zeit, bis auf die äußeren Reize hin wieder genügend Tonus produziert worden ist, der dem Tier die Herrschaft über die Muskulatur wiedergibt.

Was die Verteilung der Erzeugungsstätten für freien Tonus anbetrifft, so werden wir annehmen dürfen, daß sie, abgesehen vom Hirn, wo sie ausschließlich vertreten sind, und von der Schwanzanschwellung, wo sie die Hauptmasse ausmachen dürften, längs des ganzen Bauchstranges gleichmäßig verteilt sind und beiden Röhrensystemen gleichmäßig ansitzen.

Die Frage nach dem Tonus im centripetalen Nerven und Rezeptionsorganen gehört nicht mehr in den Rahmen dieser Abhandlung.

Somit könnte ich schliefsen. Aber ich empfinde das Bedürfnis, nicht es zu entschuldigen, dafs ich den Leser in scheinbar waghalsige Theorien hineingeführt habe, wohl aber es zu erklären. Ich habe, so lange es irgend möglich war, daran festgehalten, die Vorgänge im Centralnervensystem auf den einfachen Begriff der Erregung zurückzuführen. Noch in meinen Arbeiten über die Seeigel, in denen ich den Ausdruck »Tonus« an Stelle der Erregung brauchte, um der Thatsache des dauernden Einflusses des Centralnervensystems auf die Muskeln Ausdruck zu geben, habe ich immer nur von höherem und niederem Tonus gesprochen. Aber schon bei dem Studium des Schattenreizes auf die tropischen Seeigel ergab sich die Notwendigkeit von gesammelter Erregung oder Tonus zu sprechen. Damit war implicite bereits zugestanden, dafs es nicht blofs hohen und niederen Tonus, sondern auch viel oder wenig Tonus gibt. Die Leistungen des Sipunculus-Nervensystems liefsen sich schlechterdings nicht mehr auf einen Begriff zurückführen, der blofs einer einfachen Steigerung fähig war, und zwangen mich, auf dem bereits eingeschlagenen Weg weiterzuschreiten. So wurde aus dem blofsen Begriff der Erregung die Vorstellung vom Tonus, an der man zwei Faktoren, Menge und Druck, unterscheiden konnte, von denen jeder für sich einer Steigerung fähig war.

Sucht man die Leistungen des Nervensystems auf diese beiden Faktoren zurückzuführen, so zeigt es sich, dafs die Erscheinungen nur dann einen Sinn ergeben, wenn die beiden Faktoren gelegentlich gegeneinander arbeiten.

Hieraus folgte ferner die Forderung einer wechselnden Kapazität in bestimmten Punkten des Centralnervensystems, und so entstanden die Repräsentanten.

Man wird daher gut thun, auf die Form, die ich für die Repräsentanten wählte, und auf die angezogenen Vergleiche mit Dämpfen und Flüssigkeiten kein allzugrofses Gewicht zu legen. Sie waren notwendig, um die Leistungen des Centralnerven-

systems in einem anschaulichen Schema zu vereinigen, das die Darstellung ermöglichte. Die Hauptsachen bleiben die Leistungen selbst, aus denen wir schliefsen dürfen, dafs es im Nervensystem einen Überträger gibt, der die Eigenschaften eines Fluidums besitzt, das im Centralnervensystem kreist, auf die Muskeln aber vorwiegend durch Druckwellen einwirkt.

Diese Druckwellen sind es, die man bisher allein beachtet hatte, und die man Erregungen nannte.

Sowohl zur Erzeugung der kreisenden Bewegung im Centralnervensystem, wie zur Erzeugung der Druckwellen im Muskelnerven, mufs Arbeit geleistet werden, die durch Umsetzung des Fluidums in bestimmten Apparaten zu stande kommt.

Ventilartige Einrichtungen in den Bahnen zwingen das Fluidum, bestimmte Wege einzuschlagen, und diese Apparate in vorgeschriebener Reihenfolge zu füllen, während die Apparate auf diese Füllung durch einen stärkeren Verbrauch des Fluidums antworten, der sie befähigt, die doppelte Arbeit zu leisten, welche einerseits in dem Weitertreiben des Fluidums in den intracentralen Bahnen, anderseits in der Erzeugung von Druckschwankungen im Muskelnerven liegt.

So kommt ein geregelter Ablauf der Bewegungen zu stande.[1]) Die Anordnung der das Fluidum treibenden Apparate ist ein integrierender Teil des biologischen Bauplans des Tieres. Von der grofsen Auswahl möglicher Kombinationen, welche die reiche Muskulatur von Sipunculus bietet, wird nur ein sehr beschränkter Gebrauch gemacht, so dafs nur einige wenige Bewegungsfolgen, wie das Bohren, das Schwimmen und das Umdrehen, beinahe den Gesamtinhalt der Lebensthätigkeit des Tieres ausmachen. Diese Beschränkung liegt im primitiven Bauplan der centralen Apparate begründet, der dem Fluidum in nur wenigen, aber fest eingefahrenen Bahnen zu kreisen gestattet.

Das verbrauchte Fluidum wird wieder ersetzt von besonderen Erzeugungsstätten aus, auf welche die von der Aufsenwelt herstammenden Reize Einflufs ausüben.

---

1) Vgl. hierzu Taf. VI Fig. 2.

Was dieses Fluidum, das ich Tonus nannte, in Wirklichkeit ist, wer vermag das zu sagen? Ist es Elektricität, ist es etwas anderes — wir wissen es nicht.

Zwar ist es ein schönes Ziel, das sich die physikalische Physiologie gesetzt hat, wenn sie nach dieser Erkenntnis strebt. Noch hat sie es nicht erreicht. Uns berühren ihre Bestrebungen nicht. Für die Kenntnis der Organisation des Centralnervensystems ist es ganz gleichgültig, ob die Erregungen etwas mehr oder weniger jenen Vorgängen ähneln, die sich in einem mit nassem Papier umwickelten Draht abspielen.

Was wir brauchen, ist eine handfeste Vorstellung, die uns zu immer neuen Fragestellungen anspornt und uns schrittweise weiterführt in das unerforschte Gebiet centraler Nervenorgane.

Litteratur-Verzeichnis.

1) Andrews, Notes on the anatomy of Sipunculus Gouldi Pourtalès. Studies from the Biological Laboratory John Hopkins University Baltimore 1887, vol. IV p. 389.

2) Bethe, Das Centralnervensystem von Carcinus Maenas. I. Teil, 2. Mitteilung, S. 629. Archiv f. mikroskop. Anat. u. Entwickelungsgeschichte Bd. 50, 1897.

3) Engelmann, Zur Physiologie des Ureters. Pflügers Archiv 1869, Bd. 2 S. 243.

4) A. Fick, Mechanische Arbeit u. Wärmeentwickelung bei der Muskelthätigkeit. Internat. wissensch. Bibliothek Bd. 51. Leipzig 1882.

5) A. Fick, Myographische Versuche am lebenden Menschen. Pflügers Archiv 1887, Bd. 41 S. 177.

6) B. Haller, Beiträge zur Kenntnis des Centralnervensystems höherer Würmer. Arbeiten aus den zool. Instituten Wien u. Triest 1889, Bd. 8.

7) Hamann, Beiträge zur Histologie der Echinodermen. Heft 3. (Anat. u. Histol. d. Echiniden u. Spatangiden). Fischer. Jena 1887.

8) Hamann, Bronns Klassen und Ordnungen des Tierreiches 1901, Bd. 2 Abteil. 3 S. 1018.

9) J. Loeb, Einleitung in die vergl. Gehirnphysiologie. Leipzig 1899.

10) Mack, Das Centralnervensystem von Sipunculus nudus (Bauchstrang). Arbeiten aus den zool. Instituten Wien u. Triest 1902, Bd. 13.

11) Metalnikoff, Sipunculus nudus. Zeitschr. f. wissensch. Zoologie 1900, Bd. 68 (enthält die zool. Litteratur).

12) P. Schulz, Über den Einfluſs der Temperatur auf die Leistungsfähigkeit der längsgestreiften Muskeln der Wirbeltiere. Archiv f. Anat. u. Physiol. (Physiol. Abteil.) 1897.

13) Uexküll, Zur Muskel- und Nervenphysiologie von Sipunculus nudus. Diese Zeitschrift 1896, Bd. 33.

14) Uexküll, Die Physiologie des Seeigelstachels. Diese Zeitschrift 1900, Bd. 39.

15) Uexküll, Die Wirkung von Licht und Schatten auf die Seeigel. Diese Zeitschrift 1900, Bd. 40.

16) Ch. B. Wilson, Our North American Echiurids. Biological Bulletin 1900, vol. I S. 166.

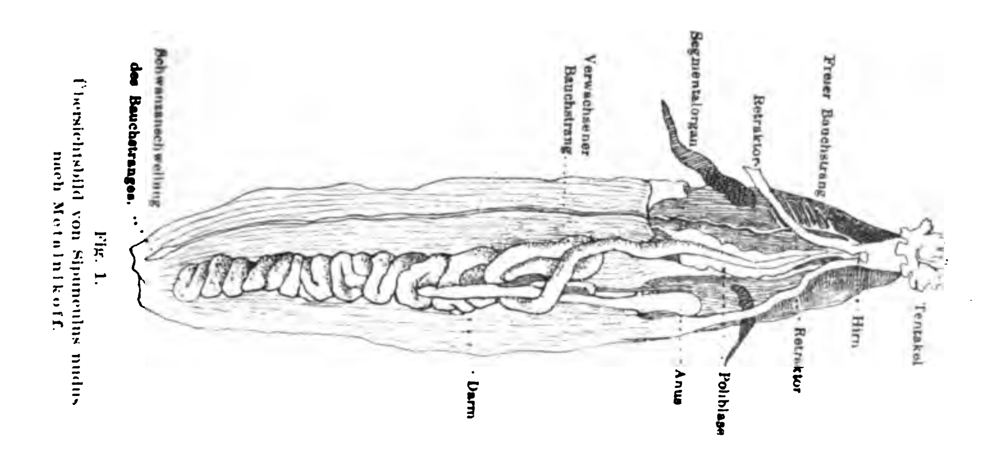


Fig. 1.
Übersichtsbild von Sipunculus nudus nach Metalnikoff.

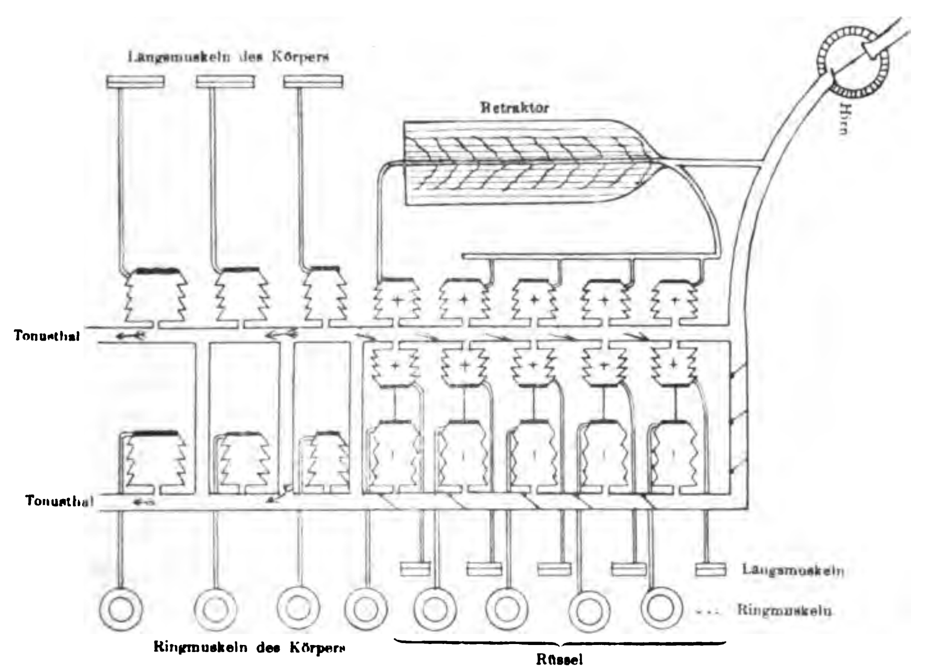


Fig. 2.
Schema des Aufbaues der Repräsentanten im Bauchstrang von Sipunculus zum Schlufs des Bohraktes, während der Verkürzung der Retraktoren und der Längsmuskulatur des Rüssels.

Druck u. Verlag von R. Oldenbourg in München u. Berlin.



Die Berechnung der Verbrennungswärme mittels der Elementarzusammensetzung.[1])

Von

Erwin Voit.

(Aus dem physiologischen Institut der tierärztlichen Hochschule München.)

Es gibt in der Ernährungslehre verschiedene Probleme, welche sich nur dadurch lösen lassen, dafs man neben dem Studium des chemischen Vorganges auch die dabei stattfindende Wärmetönung in Betracht zieht. Dieselbe ist gegeben durch die Verbrennungswärme des Anfangs- und Endzustandes der in Frage kommenden Substanzen.

Nun ist allerdings die Verbrennungswärme einer grofsen Anzahl organischer Verbindungen, darunter der meisten Nährstoffe, schon bekannt. Bei solchen Fragen handelt es sich aber für gewöhnlich nicht um reine Substanzen, sondern um Gemische derselben. So führen wir in der Regel nicht die reinen Nährstoffe zu, sondern Nahrungsmittel; das sind Substanzgemische von wechselnder, zum Teil noch höchst ungenau bekannter Zusammensetzung. Das Gleiche gilt für die tierischen Zersetzungsprodukte. Harn und Kot zeigen verschiedene Zusammensetzung bei verschiedener Aufnahme; zeigen aber auch Unterschiede je nach der Tierart. Ich erinnere hier nur an die Differenz in der Zusammensetzung des Harns von Säugern und Vögeln. So wäre man bei Versuchen, in denen es sich um das Studium solcher

---

1) Nach einem Vortrage, gehalten in der Gesellsch. f. Morph u. Phys. in München 1897.

Zersetzungsvorgänge handelt, vielfach genötigt, nicht nur die Zusammensetzung, sondern auch die Verbrennungswärme der Ein- und Abgabe zu ermitteln, eine Aufgabe, die dem Einzelnen nahezu unmöglich ist, ganz abgesehen davon, dafs ein Apparat zur Bestimmung der Verbrennungswärme gerade nicht in jedermanns Händen sein wird.

Ich habe deshalb schon vor längerer Zeit versucht, die Verbrennungswärme zu berechnen, und zwar mittels der Elementarzusammensetzung der Substanz. Die Methode hat mir vielfach gute Dienste geleistet, und es geschieht vielleicht manchem damit ein Gefallen, wenn ich dieselbe auch jetzt noch zur Veröffentlichung bringe.

Bekanntlich versteht man unter »Verbrennungswärme« die Wärmemenge, welche bei vollständiger Oxydation einer Substanz auftritt. Man könnte nun die Wärmetönung, mit der ein solcher Prozefs verläuft, ebenso gut als Funktion der Sauerstoffmenge betrachten, welche bei der Verbrennung gebunden wird, als der Substanzmenge, welche verbrannt wird. Ist die Elementarzusammensetzung einer Substanz bekannt, so läfst sich diese zur völligen Oxydation nötige Sauerstoffmenge aus folgender Formel ableiten:

$$100\ O = 8\left(\frac{h}{1{,}01} + \frac{c}{3{,}0} + \frac{s}{5{,}30}\right) - o$$

wenn h, c, s, o, den Wasserstoff-, Kohlenstoff-, Schwefel- und Sauerstoffgehalt von 100 g Substanz darstellen, und unter O die zur Verbrennung von 1 g Substanz nötige Menge Sauerstoff [= Sauerstoff-Kapacität der Substanz][1]) bezeichnet wird.

Dividiert man die Verbrennungswärme von 1 g Substanz durch O, so erhält man den Wärmewert für 1 g Sauerstoff:

$$\frac{\text{Kal.}}{O} = K.$$

Den Verbrennungsprozefs einer Substanz kann man sich in zwei Phasen zerlegt denken. Das ist Zerfall der Verbindung

1) Ich werde die zur Verbrennung von 1 g Substanz nötige O_2-Menge fortan nach dem Vorschlage von Dr. Krummacher als O_2-Kapacität bezeichnen.

in die Atome, und dann die Oxydation der Atome. Die Verbrennungswärme setzt sich demnach aus 2 Komponenten zusammen, einmal der Wärmetönung, welche der Spaltung des Moleküls, und dann der Wärmetönung, welche der Oxydation der isolierten Atome entspricht. Daraus ergibt sich schon, dafs der Wert für *K* nicht konstant sein kann, sondern verschieden sein wird, je nach der Beschaffenheit der Atome und der Art ihrer Verknüpfung im Molekül. Wir haben für 1 g:

	Verbrennungswärme	O_2-Kapacität	*K* in g Kal.
Wasserstoff . .	34 230	7,92	4322
Kohlenstoff . .	7 859	2,67	2943
Schwefel . . .	2 221	1,00	2221

Der Wert für *K* erscheint also ganz ungleich grofs.

Die eben angeführten Verbrennungswärmen beziehen sich allerdings nicht auf die isolierten Atome, sondern auf die Moleküle oder vielmehr die Elemente im natürlichen Zustande. Die Verbrennungswärme der Atome braucht also diese Differenzen gar nicht zu zeigen. Ich habe die obigen Verbrennungswärmen deshalb gewählt, weil dieselben in der Regel bei der Berechnung der sogenannten Bildungswärme benutzt werden. Aber selbst wenn die Verbrennungswärmen der Atome viel von einander abweichen, war doch zu hoffen, den Zusammenhang zwischen dem chemischen Aufbau einer Substanz und dem Werte von *K* zu finden. Und dann wäre die Elementarzusammensetzung zur Berechnung der Verbrennungswärme verwendbar.

Ich habe deshalb für alle Kohlenstoff-Verbindungen, deren Verbrennungswärme vorlag, diesen Quotienten *K* berechnet, und das daraus sich ergebende Resultat ist, dafs bei den Verbindungen, welche zur gleichen Gruppe gehören, auch der Wert von *K*, man kann sagen, gleich ist. Überhaupt sind die Unterschiede für *K* nur gering, und betragen, von wenigen Ausnahmen abgesehen, nicht mehr als 10 %.

Ich möchte bei dieser Gelegenheit nicht näher auf die erhaltenen Werte von *K* und die daraus abzuleitenden Gesetzmäfsigkeiten eingehen, sondern nur die Zahlen hier anführen, welche für physiologische Fragen in Betracht kommen.

Tabelle 1.

	K in g Kal.	O_2-Kapacität für 1 g	Verbrennungswärme für 1 g in g Kal.		
			gefunden	berechnet mit Mittelwert v. K	Diff. in %
Niedere Fettsäuren:					
Essigsäure	3272	1,067	3490	3494	—0,1
Buttersäure	3278	1,818	5959	5954	+0,1
Mittel	3275				
Hohe feste Fettsäuren:					
Caprinsäure	3255	2,605	8478	8487	—0,1
Laurinsäure	3257	2,720	8859	8862	—
Palmitinsäure . . .	3259	2,875	9369	9367	—
Stearinsäure	3259	2,930	9549	9546	—
Behensäure	3260	3,012	9819	9813	+0,1
Mittel	3258				
Hohe flüssige Fettsäuren:					
Ölsäure	3288	2,893	9514	9466	+0,5
Elaidinsäure	3266	2,893	9448	9466	—0,2
Erucasäure	3271	2,982	9755	9757	—
Brassidinsäure . . .	3264	2,982	9734	9757	—0,3
Mittel	3272				

Wie man sieht, stimmen innerhalb der einzelnen Gruppen die aus dem Mittelwerte von K berechneten Verbrennungswärmen mit den direkt gefundenen gut überein, bei Verbindungen analoger Atomgruppierung sogar nahezu vollständig. Denn die Differenz im Werte von K zwischen den niederen und hohen Fettsäuren der normalen Reihe hängt nur von dem ungleichen Aggregatzustande ab. Rechnet man die Werte von K für die hohen Fettsäuren auf flüssigen Zustand um, so erhält man $K = 3274$, während der mittlere Wert für die niederen Fettsäuren $K = 3275$ ist. Das heifst: Der Wert für K ist in der ganzen Reihe der einbasischen gesättigten Fettsäuren von der Essigsäure bis zu den höchsten Gliedern, auf gleichen Aggregatzustand bezogen, nahezu identisch.

Etwas gröfser, wenn auch nicht erheblich, ist der Unterschied zwischen den Werten der ungesättigten Reihe, zum Teil, weil hier bei den einzelnen Repräsentanten die Atomgruppierung eine ungleiche ist, wahrscheinlich aber auch deshalb, weil die Substanzen nicht rein, also für sie ein falscher Wert für die O_2-Kapacität angenommen wurde. Der Mittelwert dagegen ist von dem der zwei ersten Reihen kaum verschieden. Jedenfalls erhält man für praktische Zwecke hinlänglich genaue Werte, wenn man zur Berechnung der Verbrennungswärme einzelner Glieder in die Formel: Kal. = $O. K.$ den mittleren Wert von K einsetzt.

Tabelle 2.

	K in g Kal.	O_2-Kapacität für 1 g Substanz	Verbrennungswärme für 1 g in g Kal. gefunden	berechn. aus d. Mittelwert v. K	Diff. in %
Künstl. Fette:					
Trilaurin	3272	2,734	8945	8943	—
Trimyristin	3273	2,814	9211	9205	— 0,1
Trierucin	3274	2,980	9756	9748	— 0,1
Tribrassidin	3264	2,980	9728	9748	+ 0,2
Mittel	3271	2,877			
Natürl. Fette:					
Tierfett	3293	2,884	9500	9434	— 0,7
Butterfett	3248	2,843	9231	9299	+ 0,7
Mittel	3271	2,863			

Wie zu erwarten, ist der Wert K für die künstlichen Fette nahezu der gleiche wie für die Fettsäuren, da bei den hohen Triglyceriden die Fettsäuren die Hauptmasse ausmachen. Für die niederen Triglyceriden, so dem Tributtirin dürfte K etwas höher liegen, da das Glycerin einen den Kohlenhydraten ähnlichen Wert für K besitzt. Ebenso sind die Werte K von den Glyceriden der flüssigen und festen Säuren nahezu identisch, ganz analog der Übereinstimmung zwischen den Werten K der Fettsäuren selbst.

Merkwürdig ist dagegen die Abweichung bei den natürlichen Fetten, sowohl unter sich, wie gegenüber den künstlichen

Fetten. Es macht den Eindruck, als ob diese Differenzen auf Ungenauigkeiten in der Elementaranalyse zurückzuführen wären.

Tabelle 3.

	K in g Kal.	O_2-Kapacität für 1 g Substanz	Verbrennungswärme für 1 g in g Kal. gefunden	berechnet mit $K = 3517$	Diff. in %
Kohlenhydrate:					
Xylose	3511	1,067	3746	3752	+0,2
d-Glukose	3508	1,067	3743	3752	+0,2
Maltose	3520	1,123	3949	3950	—
Stärke	3530	1,185	4183	4168	—0,4
Mittel	3517				

Die Werte für K gehen mit der in einem Molekül vorhandenen Zahl von Zuckergruppen etwas in die Höhe, aber doch nur so gering, dafs man ohne wesentliche Fehler einen Mittelwert von K zur Berechnung der Verbrennungswärmen von allen Kohlenhydraten benutzen kann.

Tabelle 4.

	K in g Kal.	O_2-Kapacität für 1 g	Verbrennungswärme für 1 g in g Kal. gefunden	berechnet mit d. Mittelw. K	Diff. in %
N-halt. Zersetzungspr.					
Glykokoll	3258	0,960	3128	3114	—0,4
Alanin	3231	1,348	4356	4373	+0,4
Leucin	3242	2,015	6533	6537	—
Mittel	3244				
Asparaginsäure . .	3211	0,902	2896	2900	+0,1
Asparagin	3218	1,091	3511	3508	—0,1
Mittel	3215				
Tyrosin	3266	1,812	5918	5911	—0,1
Hippursäure . . .	3258	1,743	5678	5686	+0,1
Mittel	3262				
Sarkosin	3343	1,348	4507	4501	—0,1
Kreatin	3335	1,282	4275	4281	+0,1
Mittel	3339				
Harnstoff	3171	0,800	2537	2549	+0,5
Harnsäure	3198	0,857	2741	2730	—0,5
Guanin	3190	1,219	3885	3884	—
Mittel	3186				

Auch hier weichen für die Verbindungen ähnlicher Atomgruppierung die Werte von K nur wenig von einander ab. Aber auch die extremsten Werte zeigen nur einen Unterschied von 5 %, so dafs der mögliche Fehler, den man bei Berechnung der Verbrennungswärmen mit Hilfe einer Mittelzahl für K zu machen vermag, nur 2,5 % betragen würde.

Tabelle 5.

	K in g Kal.	O_2-Kapacität für 1 g	Verbrennungswärme für 1 g in g Kal.		
			gefunden	berechn. mit Mittelwert v. K	Diff. i. %
Eiweifskörper.					
Pflanzenfibrin . .	3307	1,797	5942	5927	— 0,3
Legumin	3291	1,760	5793	5804	+ 0,2
Konglutin	3295	1,663	5479	5484	+ 0,1
Mittel	3298				
Serumalbumin . .	3204	1,847	5918	5986	+ 1,1
Eieralbumin . . .	3176	1,806	5735	5853	+ 2,0
Fleischfaser . . .	3288	1,740	5721	5639	— 1,4
Blutfibrin	3165	1,781	5637	5772	+ 2,4
Vitellin	3298	1,742	5745	5646	— 1,7
Kaseïn	3265	1,795	5858	5818	— 0,9
Syntonin	3244	1,821	5908	5902	— 0,1
Pepton (Proteose?).	3285	1,613	5299	5228	— 1,4
Mittel	3241				
Chondrin	3233	1,587	5131	5128	— 0,1
Osseïn	3214	1,568	5040	5066	+ 0,5
Elastin	3240	1,840	5961	5945	— 0,3
Wollfaser	3236	1,703	5510	5502	—
Mittel	3231				

Während die Werte von K für die vegetabilischen Eiweifskörper und die Albuminoide annähernd übereinstimmen, weichen die Werte der tierischen Eiweifskörper unter einander weiter ab, so dafs auch die mit Hilfe der Mittelzahl gerechneten Verbrennungswärmen bis auf 2,4 % von den gefundenen sich unterscheiden. Wenn man berücksichtigt, wie gut die Werte von K für Stoffe ähnlicher Atomgruppierung übereinstimmen, wird man die hier gefundenen Differenzen auf Fehler der Elementaranalyse zu schreiben geneigt sein, da es doch nicht wahrscheinlich ist,

dafs die Eiweifskörper, von den Proteïden abgesehen, aus so verschiedenartigen Gruppen zusammengesetzt sein sollten.

Die gleiche Schlufsfolgerung mufs man aus den Resultaten ziehen, die Stohmann an dem gleichen Eiweifskörper bei verschiedener Zubereitung gewonnen hat, so dem Kaseïn:

	Verbrennungswärme für 1 g in g Kal.	O_2-Kapacität für 1 g	*K* in g Kal.
Kaseïn I	5867	1,815	3232
Kaseïn II	5850	1,777	3292
Diff. in %	0,3	2,1	1,8

Da die Verbrennungswärmen nur wenig, die Werte für die O_2-Kapacität, welche aus der Elementaranalyse berechnet wurden, aber viel von einander verschieden sind, mufs hier wenigstens die grofse Differenz im Werte von *K* auf einer Ungenauigkeit der Elementaranalyse beruhen.

Ich führe hier noch einen Vergleich der von Berthelot und Stohmann erhaltenen Werte an:

	Verbrennungswärme f. 1 g i. g Kal.			O_2-Kapacität von 1 g			*K* in g Kal.		
	Berthelot	Stohmann	Diff. in %	Berthelot	Stohmann	Diff. in %	Berthelot	Stohmann	Diff. in %
Pflanzenfibrin	5832	5942	+1,9	1,837	1,797	−2,2	3174	3307	+4,2
Eieralbumin	5687	5735	+0,8	1,725	1,806	+4,5	3297	3176	−3,7
Fleischfaser	5728	5721	−0,1	1,860	1,740	−6,9	3080	3288	+6,8
Blutfibrin	5529	5637	+1,9	1,700	1,781	+4,6	3252	3165	−2,7
Vitellin	5781	5745	−0,6	1,803	1,742	−3,5	3206	3292	+2,9
Kaseïn	5626	5858	+4,0	1,714	1,795	+4,5	3282	3265	−0,5

Man sieht, die Differenz der Verbrennungswärmen ist für alle Substanzen, mit Ausnahme des Kaseïns, stets kleiner wie die Differenz in den Werten der O_2-Kapacität, ein Zeichen, dafs es sich hier weniger um Ungleichheiten in der Zusammensetzung,

als um Ungenauigkeiten in der Bestimmung der Zusammensetzung handeln kann.

Übrigens sind unter den von Stohmann ausgeführten Bestimmungen, die in Tab. 5 aufgezählt, nur zwei mit wirklich weit vom Mittel abweichenden K-Werten; die übrigen Werte liegen so ziemlich zwischen 3,25 und 3,30. Das entspricht einer Differenz von 1,5%; der mögliche Fehler bei Benützung des Mittelwertes wäre demnach 0,8%.

Die wenigen Beispiele, die ich hier angeführt, zeigen wohl, dafs man bei reinen Substanzen, soferne man nur weifs, zu welcher Gruppe von Verbindungen dieselben gehören, die Verbrennungswärmen aus der Elementarzusammensetzung derselben berechnen kann. Die von mir angeführten Fälle sind zum Teil sogar ungünstig gewählt, weil davon einige, wie schon betont, wahrscheinlich nicht rein, andere, Fehler in der Elementaranalyse aufzuweisen scheinen. Ich glaubte sie deshalb anführen zu müssen, weil dieselben bei physiologischen Vorgängen am häufigsten in Betracht kommen.

Da die Werte von K für alle Substanzen der gleichen Gruppe ziemlich gute Übereinstimmung zeigen, wenn auch die Verbrennungswärmen der einzelnen Glieder der Reihe sehr weit auseinander fallen, so ist es stets genauer, aus dem der Gruppe zugehörigen Mittelwerte von K und der O_2-Kapacität der vorliegenden Substanz die Verbrennungswärme derselben zu berechnen, als den mittleren Verbrennungswert der Gruppe dafür einzusetzen. Das ergibt sich leicht aus folgender Zusammenstellung:

Tabelle 6.

	Werte für K		Verbr.-Wärme für 1 g	
	in g Kal.	abw. v. Mittel in %	in g Kal.	abw. v. Mittel in %
Niedere Fettsäuren.				
Essigsäure	3272	— 0,1	3490	— 26,2
Buttersäure	3278	+ 0,1	5959	+ 26,1
Mittel	3275		4724	

	Werte für *K*		Verbr.-Wärme für 1 g	
	in g Kal.	abw. v. Mitt in %	in g Kal.	abw. v. Mitt. in %
Hohe feste Fettsäuren.				
Caprinsäure	3255	— 0,1	8478	— 8,0
Laurinsäure	3257	—	8859	— 3,9
Palmitinsäure	3259	—	9369	+ 1,7
Stearinsäure	3259	—	9549	+ 3,6
Behensäure	3260	+ 0,1	9819	+ 6,6
Mittel	3258		9215	
Hohe flüssige Fettsäuren.				
Ölsäure	3288	+ 0,5	9514	— 1,0
Elaidinsäure	3266	— 0,2	9448	— 1,7
Erucasäure	3271	—	9755	+ 1,5
Brassidinsäure	3264	— 0,3	9734	+ 1,3
Mittel	3272		9613	
Künstliche Fette.				
Trilaurin	3272	—	8945	— 4,9
Trimyristin	3273	— 0,1	9211	— 2,2
Trierucin	3274	— 0,1	9756	+ 3,7
Tribrassidin	3264	+ 0,2	9728	+ 3,4
Mittel	3271		9410	
Natürliche Fette.				
Tierfett	3303	— 0,7	9500	+ 1,4
Butterfett	3258	+ 0,7	9231	— 1,4
Mittel	3271		9366	
Kohlenhydrate.				
Xylose	3511	+ 0,2	3746	— 4,1
d-Glukose	3508	+ 0,2	3743	— 4,2
Maltose	3520	—	3949	+ 1,1
Stärke	3530	— 0,4	4183	+ 7,1
Mittel	3517		3905	
N-haltige Zersetzungsprodukte.				
Glykokoll	3258	+ 0,4	3128	— 33,0
Alanin	3231	— 0,4	4356	— 6,8
Leucin	3242	—	6533	+ 39,8
Mittel	3244		4672	
Asparaginsäure	3211	— 0,1	2896	— 9,6
Asparagin	3218	+ 0,1	3511	+ 9,6
Mittel	3215		3203	

	Werte für K		Verbr.-Wärme für 1 g	
	in g Kal.	abw. v. Mitt. in %	in g Kal.	abw. v. Mitt. in %
Tyrosin	3266	+ 0,1	5918	+ 2,1
Hippursäure	3258	— 0,1	5678	— 2,1
Mittel	3262		5798	
Sarkosin	3343	+ 0,1	4505	+ 2,6
Kreatin	3335	— 0,1	4275	— 2,6
Mittel	3339		4390	
Harnstoff	3171	— 0,5	2537	— 16,9
Harnsäure	3198	+ 0,4	2741	— 10,3
Guanin	3190	+ 0,1	3885	+ 27,2
Mittel	3186		3054	
Eiweifskörper.				
Pflanzenfibrin	3307	+ 0,3	5942	+ 3,5
Legumin	3291	— 0,2	5793	+ 1,0
Conglutin	3295	— 0,1	5479	— 4,5
Mittel	3298		5738	
Serumalbumin	3204	— 1,1	5918	+ 3,3
Eieralbumin	3176	— 2,0	5735	+ 0,1
Fleischfaser	3288	+ 1,5	5721	— 0,1
Blutfibrin	3165	— 2,3	5637	— 1,6
Vitellin	3298	+ 1,8	5745	+ 0,3
Kaseïn	3265	+ 0,7	5858	+ 2,3
Syntonin	3244	—	5908	+ 3,2
Pepton	3285	+ 1,3	5299	— 7,5
Mittel	3241		5728	
Chondrin	3233	+ 0,1	5131	— 5,2
Osseïn	3214	— 0,5	5040	— 6,8
Elastin	3240	+ 0,3	5961	+ 10,2
Wollfaser	3236	+ 0,1	5510	+ 1,8
Mittel	3231		5411	

Bei all den angeführten Reihen sind die Unterschiede in den Werten von K bedeutend geringer als die der Verbrennungswärmen. Nur für das tierische Eiweifs tritt diese Thatsache nicht so deutlich hervor, wohl deshalb, weil hier, wie gesagt, die Elementaranalysen ungenau sind. Aber auch bei dieser Gruppe sind die maximalen Abweichungen für den Wert K immer noch kleiner als für die Verbrennungswärmen.

Soweit also die Verbrennungswärme chemischer Verbindungen in Betracht kommt, läfst sich dieselbe

mit hinlänglicher Genauigkeit, wenigstens für physiologische Fragen, aus der Sauerstoff-Kapacität der betreffenden Verbindung und dem Gruppenwerte von K berechnen.

Nun handelt es sich aber bei Betrachtungen über den tierischen Kraftwechsel höchst selten um Substanzen einheitlicher Natur, sondern um Gemische von wechselnder und zum Teil ungenau bekannter Zusammensetzung. Es liegen zwar auch für solche Gemische schon Bestimmungen über Verbrennungswärmen vor, und insbesondere wurden in letzter Zeit von verschiedener Seite, namentlich von Rubner, Kellner, Zuntz u. s. w., sowohl für Nahrungsmittel, wie deren Zersetzungsprodukte die Verbrennungswärmen direkt ermittelt. Das bezieht sich einstweilen aber doch nur auf wenige Substanzen, und es frägt sich, wie weit diese Werte der Verallgemeinerung zugänglich sind.

Wenn man also die Verbrennungswärme solcher Gemische zu der einen oder anderen Betrachtung nötig hat, so ist man häufig gezwungen, dieselbe sich auf einem Umweg näherungsweise zu verschaffen. Dazu stehen zwei Wege offen.

Liegen Bestimmungen für gleichartige Gemische schon vor, so könnte man im gegebenen Falle diese wieder verwenden. Es müſste dann aber die Fehlergröſse schon bekannt sein, die möglicherweise mit einer solchen direkten Übertragung verbunden ist, oder mit anderen Worten, es müſsten die Schwankungen feststehen, welche eine solche Substanz in ihrer Zusammensetzung und damit auch in ihrer Verbrennungswärme zeigen kann.

Man könnte schlieſslich auch den Verbrennungswert eines Gemisches aus den Verbrennungswerten seiner Bestandteile ableiten. Aber für viele solcher Substanzen ist die Zusammensetzung nicht genau zu bestimmen, weil die Methodik zur Trennung der einzelnen Stoffe noch nicht genügend ausgebildet ist. Sehr häufig wechselt auch die Zusammensetzung so, daſs man jedesmal von neuem dieselbe zu ermitteln hätte. Es ist deshalb auch sehr mühevoll, unter Umständen sogar unmöglich, auf diesem Wege zum Ziele zu gelangen. Bei Bestimmung der Zu-

sammensetzung eines solchen Gemisches begnügt man sich daher im allgemeinen damit, die Mengenverhältnisse der einzelnen Stoffgruppen annähernd festzustellen. So berechnet man bei der Analyse von Nahrungsmitteln den Eiweifsgehalt aus dem Stickstoffgehalt durch Multiplikation mit 6,25. Man sieht den Ätherextrakt für Fett an, und setzt den Rest, welcher nach Abzug dieser obengenannten Substanzen, sowie der Asche und etwa noch der Rohfaser, verbleibt, das heisst die sogenannten stickstofffreien Extraktstoffe, gleich den Kohlenhydraten. Dieses Verfahren besitzt für manche Fälle auch hinreichende Genauigkeit. Einen ähnlichen Weg hat Rubner zur Berechnung der Verbrennungswärme von Nahrungsmitteln vorgeschlagen, indem er die einzelnen so ermittelten Stoffmengen mit gewissen von ihm festgesetzten Standartzahlen multipliziert. Es ist wirklich erstaunlich, wie gut trotzdem die Übereinstimmung zwischen den so berechneten Werten mit den direkt gewonnenen Verbrennungswerten ausfallen kann.[1]) Das wird aber doch nur für einfach gelagerte Fälle, wie sie bei der Menschenkost gegeben sind, zutreffend sein. Und für genauere Untersuchungen wird man sich erst über die Gröfse des möglichen Fehlers zu orientieren haben, ehe ein solches Verfahren auch für sie Anwendung finden kann.

Über viele der genannten Schwierigkeiten kommt man hinweg bei Berechnung der Verbrennungswärme mit Hilfe der Elementarzusammensetzung. Natürlich sind auch hierfür gewisse Voraussetzungen notwendig. Es mufs der Wert von K, d. h. die Verbrennungswärme für 1 g Sauerstoff bekannt sein. Der Vorteil dieser Berechnungsmethode liegt aber darin, dafs die Werte für K nur innerhalb enger Grenzen schwanken, und für Verbindungen ähnlicher Atomgruppierung nahezu übereinstimmen. Es genügt deshalb in einem Falle, K zu bestimmen, um damit die Verbrennungswärme für alle Substanzen ähnlicher Herkunft berechnen zu können, da durch Berücksichtigung der Sauerstoff-Kapacität die Ungleichheiten in der Zusammensetzung ausgeglichen werden.

1) Zeitschr. f. Biol. Bd. 42 S. 261.

Die Gröfse K läfst sich auch schliefslich berechnen, wenn für die in Frage kommenden Substanzen die Stoffzusammensetzung annähernd bekannt ist, da die Verbrennungswärmen der physiologisch wichtigen chemischen Verbindungen wohl sämtlich schon vorliegen. Die Berechnung von K geschieht demnach in folgender Weise:

Bezeichnet man mit $a_1\ a_2 \ldots$ die relativen Mengen der einzelnen Stoffgruppen, mit $z_1\ z_2 \ldots.$ die jeder Stoffgruppe zukommende Sauerstoff-Kapacität und mit $k_1\ k_2 \ldots$ die Werte von K für dieselbe, so ergibt sich zur Ermittlung des Wertes K für ein Substanzgemische folgende Gleichung:

$$K = \frac{a_1\ z_1\ k_1 + a_2\ z_2\ k_2 + \ldots}{a_1\ z_1 + a_2\ z_2 + \ldots\ldots}$$

Bei physiologischen Untersuchungen wird wohl der Fall häufig gegeben sein, die Verbrennungswärme von Nahrungsmitteln zu berechnen, die von organischen Substanzen der Hauptsache nach Eiweifs, Fett und Kohlenhydrate enthalten. Wenn nun auch die Mittelwerte für K und Z dieser Stoffgruppen aus den in den Tabellen aufgeführten Zahlen zu entnehmen sind, so lassen sich diese Werte für den vorliegenden Fall doch noch genauer angeben.

Für das Pflanzeneiweifs zeigen die bisher bestimmten Werte von K so wenig Unterschiede, dafs man den Mittelwert derselben $K = 3298$ g Kal. ohne weiteres als gültig annehmen kann. Dagegen sind die Differenzen zwischen den Werten von K bei den einzelnen tierischen Eiweifskörpern bedeutend gröfser. Im hier angenommenen Falle kommen aber von denselben im wesentlichen nur die Eiweifskörper des Fleisches und der Milch in Betracht. Berücksichtigt man, dafs die ersteren ungefähr zu 90 Teilen aus Eiweifskörpern (Fleischfaser), dann zu annähernd 10% aus Leim gebender Substanz bestehen, so erhält man für die eiweifsartige Substanz des Fleisches in Mittel: $K = 3281$. Für das Milchkaseïn ist: $K = 3265$. Da beide Werte einander sehr nahe kommen, kann man als Mittelwert für tierisches Eiweifs $K = 3273$ g Kal. annehmen.

Für die stickstoffhaltigen Extraktstoffe ist der Wert von K im Durchschnitt nicht wesentlich verschieden; und da dieselben

im allgemeinen doch gegenüber der eiweifsartigen Substanz zurücktreten, so kann der Wert von K für Eiweifs durch eine Verunreinigung mit anderen stickstoffhaltigen Substanzen kaum sich ändern.

Für das tierische Fett haben wir als Mittelwert gefunden: $K = 3271$ g Kal. Da die Fettsäuren, feste wie flüssige, nahezu den gleichen Wert für K besitzen, so wird auch für die Pflanzenfette die gleiche Zahl anzunehmen sein. Auch hier bringt eine Verunreinigung mit niederen Fetten oder freien Fettsäuren kaum einen Unterschied zu Stande.

Bei den Kohlenhydraten kommen in erster Linie die Stärke oder zur Stärkegruppe gehörige Substanzen in Betracht, in geringerer Menge die übrigen Kohlenhydrate. Da nun, wie aus Tabelle 3 ersichtlich, die Werte von K für die ganze Kohlenhydratgruppe nur geringe Unterschiede zeigen, so kann als mittlerer Wert von K für diese Gruppe: $K = 3525$ g Kal. angesehen werden.

Die für die Nahrungsmittel in Betracht zu ziehenden Konstanten sind demnach:

	K in g Kal.	O_2-Kapacität
Pflanzeneiweifs . . .	3298	1,740
Tierisches Eiweifs . .	3273	1,721
Fett	3271	2,863
Kohlenhydrate . . .	3525	1,156

Der mittlere Wert von K ist: $K = 3400$ g K. und der mögliche Fehler, wenn wir mit dieser Mittelzahl rechnen, nicht ganz 4%.

Da die obengenannten Nährstoffe beinahe ausschliefslich das Material für die Oxydationsvorgänge im Tierkörper bilden, so lassen sich die angegebenen Werte für K auch zur Berechnung des Energieverbrauches eines Tieres aus dem aufgenommenen Sauerstoff benutzen. Der Wert für das Eiweifs wird allerdings für diesen Zweck noch einer geringen Korrektur bedürfen, da den aus ihm gebildeten Zersetzungsprodukten ein etwas anderer K-Wert zukommt. Dieselbe ist aber jedenfalls gering, da der Unterschied im Werte von K nur klein ist (für Harn kleiner,

für Kot gröfser), und diesen Zersetzungsprodukten auch eine viel geringere Sauerstoffkapacität zukommt als dem Eiweifs selbst.

Wie aus den Zahlen zu entnehmen, läfst sich der Energieverbrauch aus der Sauerstoffaufnahme sogar sehr genau berechnen, so lange das Tier von Eiweifs oder auch Fett zehrt. Weniger genau allerdings fällt diese Berechnung bei Kohlenhydratfütterung aus, wenigstens wenn man über die Beteiligung der einzelnen Nährstoffe an den Zersetzungsvorgängen keinen Aufschlufs besitzt. Aber auch in diesem ungünstigsten Falle kann der mögliche Fehler nicht viel mehr als 3% betragen, sobald man die Mittelzahl $K = 3400$ g Kal benutzt.

Schon vor 17 Jahren hat Rubner[1]) ähnliche Werte aufgestellt. Immerhin zeigen sie gegenüber den meinigen Differenzen. Sie sind darauf zurückzuführen, dafs damals die zu der Berechnung nötigen Werte noch nicht diese Genauigkeit besafsen wie jetzt. Am meisten Unterschied zeigt der Wert für das Eiweifs, und zwar infolge der Ungenauigkeit der zur Rechnung benutzten Muskelzusammensetzung. Legt man der Rechnung Rubners die von Stohmann angegebene Zusammensetzung des entfetteten Muskels zu Grunde, so erhält man für $K = 3298$ g K.

Auch Pflüger[2]) hat in neuerer Zeit die kalorischen Werte für den O_2 bei Oxydation der Nährstoffe angegeben. Dieselben stimmen, nachdem er seine ursprünglich angegebene Zahl für Stärke korrigierte, mit den meinigen überein, auch für das Eiweifs, trotzdem er bei diesem von zum Teil falschen[3]) Annahmen ausgeht. Da er aber die Sauerstoffkapacität wie die Verbrennungswärme um den gleichen Bruchteil zu hoch annimmt, so gleichen sich die Fehler aus.

Es ist wohl selbstverständlich, dafs die direkt ermittelten Werte sicherer und genauer sind, als abgeleitete, und daher auch sehr wichtig, dafs in neuerer Zeit von verschiedener Seite weitere Untersuchungen zu direkter Bestimmung der für physiologische Vorgänge wichtigen Wärmetönungen gemacht wurden. Trotzdem wird die Berechnung der Verbrennungswärmen mittels des Wertes K noch in manchen Fällen mit Vorteil angewendet werden können. Nach einer Richtung hin wird aber unsere Konstante stets ihren Wert behalten, nämlich zur Kontrolle der Bestimmung von Verbrennungswärmen, und insbesonders zur

---

1) Zeitschrift für Biol. Bd. 21 S. 364.

2) Pflügers Archiv Bd. 77 S. 465 und Bd. 78 S. 526.

3) Zeitschr. f. Biol. Bd. 32 S. 146.

Kontrolle der Elementaranalyse, welche im allgemeinen viel weniger genau ist als die Bestimmung der Verbrennungswärme.

Ich habe schon lange den Wunsch gehabt, die Wert K für physiologisch wichtige Substanzgemische zu untersuchen, und es deshalb mit Freuden begrüfst, als mir vor einiger Zeit durch das Entgegenkommen meines Bruders C. Voit eine Mahlersche Bombe zur Verfügung gestellt wurde. Herr Dr. Krummacher hat auf meine Veranlassung diese Untersuchungen übernommen, und werden wir nächstens die Resultate derselben zur Veröffentlichung bringen.

Zum Schlufs möchte ich noch auf die Bedeutung des Wertes K aufmerksam machen für die Bestimmung des Vorzeichens einer Wärmetönung. Da die Verbrennungswärme von der Sauerstoffkapacität und dem Werte K abhängt, also Kal. $= O. K$ ist, so wird das Vorzeichen der einer Umsetzung zugehörigen Wärmetönung unter Umständen schon aus der Gröfse K des Anfangs- und Endzustandes zu entnehmen sein, dann wenn man über die Veränderung der Sauerstoffkapacität etwas Sicheres auszusagen vermag, d. h. wenn man weifs, ob es sich um eine Oxydation oder auch um eine Reduktion handelt. Insbesondere wird die Entscheidung leicht bei den einfachen Spaltungen, die ohne Zutritt weiterer Elemente, so ohne Beteiligung von Sauerstoff verlaufen. Da hier die Sauerstoffkapacität gleich bleibt, ist der Verbrennungswert durch K allein gegeben. Positive Wärmetönungen können also in letzterem Falle nur eintreten, wenn der Anfangszustand einen höheren K-Wert besitzt als das Endprodukt. Und der Energiegewinn einer solchen Spaltung wird sich richten müssen nach der Differenz im Werte von K für den Anfangs- und Endzustand der Masse. Von diesem Gesichtspunkte aus betrachtet, wird es leicht erklärlich, weshalb die Kohlenhydrate gerade bei Gärungsvorgängen eine hervorragende Rolle spielen. Denn ihr K-Wert ist höher als der der meisten Spaltungsprodukte, welche aus ihnen hervorgehen können.

Über den Brennwert des Sauerstoffs bei einigen physiologisch wichtigen Substanzen.

Von

Dr. **Otto Krummacher.**

(Aus dem physiologischen Institut der tierärztlichen Hochschule zu München.)

Theoretische Grundlage und Zweck der Untersuchung.

In der voraufgehenden Abhandlung von Professor E. Voit über die Berechnung der Verbrennungswärme mittels der Elementarzusammensetzung ist nachgewiesen worden, daſs zwischen der zur völligen Oxydation notwendigen Sauerstoffmenge, der Sauerstoffkapazität und der Verbrennungswärme bei organischen Verbindungen der gleichen Gruppe ein nahezu konstantes Verhältnis besteht, vorausgesetzt natürlich, daſs beide Werte für dieselbe Gewichtsmenge Substanz berechnet sind.

Also: $\frac{\text{Kal.}}{\text{O-Kap.}} = K.$

Gibt man die Verbrennungswärme in Kalorien und die Sauerstoffkapazität in Gramm an, so bedeutet K diejenige Wärmemenge, welche durch die oxydierende Wirkung eines Gramm Sauerstoffs entwickelt wird, eine Gröſse, die man mit naheliegender Begriffserweiterung den Brennwert des Sauerstoffs nennen kann.

Das Gesetz lautet dann: Der Brennwert des Sauerstoffs ist bei organischen Verbindungen derselben Gruppe annähernd gleich und überhaupt nur wenig verschieden.

Sind nun von den drei Gröfsen Kal., O-Kap. und K zwei gegeben, so kann die dritte durch Rechnung gefunden werden. Man kann z. B. die Verbrennungswärme berechnen, wenn O-Kap. und K bekannt sind.

Da die Kapazität sich aus der Elementaranalyse ergibt, so läfst sich bei einheitlichen Substanzen von bekanntem chemischen Charakter die Verbrennungswärme direkt aus der Elementarzusammensetzung finden. Anders liegen die Dinge bei Substanzgemengen, um die es sich bei physiologischen Fragen meistens handelt. Ist jedoch in diesem Falle aufser der Elementaranalyse auch die weitere Zusammensetzung bekannt, so ist es möglich, aus den Komponenten die richtige Konstante K exakt zu berechnen und daraus die Verbrennungswärme mit gleicher Genauigkeit zu erschliefsen.

Auf den ersten Blick könnte es freilich scheinen, als schlüge man mit dieser Methode nur einen Umweg ein, da es doch viel näher liegt, die Verbrennungswärme eines Gemenges aus der Verbrennungswärme der Bestandteile direkt zu berechnen. Und in der That, wenn wirklich die prozentischen Mengen der Komponenten genau ermittelt sind, ist unsere Methode überflüssig. Bei den für uns wichtigen Stoffen, nämlich den als Nahrung dienenden Gemengen und den mit Harn und Kot entleerten Zersetzungsprodukten, ist aber in der Regel die Zusammensetzung nur annähernd bekannt, und gerade in diesem Falle erweist sich unser Verfahren einer direkten Berechnung bei weitem überlegen, wenn man bedenkt, dafs selbst erhebliche Schwankungen in der Zusammensetzung den Wert K nur unerheblich ändern.

Wie E. Voit gezeigt hat[1]), berechnet sich der Quotient eines Gemenges nach der Formel

$$K_0 = \frac{k_1 a_1 z_1 + k_2 a_2 z_2 \ldots}{a_1 z_1 + a_2 z_2 \ \ldots}$$

in welcher das Zeichen k den Quotienten, z die Sauerstoffkapazität und a die Gewichtsmenge eines Stoffes der Mischung bedeutet.

1) S. 357 in diesem Bande.

Um von den einfachsten Verhältnissen auszugehen, wollen wir einmal annehmen, es handle sich um eine Mischung von a_1 g Eiweifs und a_2 g Kohlehydraten, dann ist nach E. Voit[1]):

$$k_1 = 3{,}30 \quad z_1 = 1{,}74$$
$$k_2 = 3{,}53 \quad z_2 = 1{,}16.$$

Dieser Fall ist übrigens annähernd verwirklicht beim Reis, der ja wenig Asche und wenig Fett enthält.

Gehen wir nun von 100,0 g des Gemenges aus, so dafs $a_1 + a_2 = 100$ und $a_1 = 100 - a_2$ wird, so erhalten wir für K_0 den Quotienten der Mischung:

$$K_0 = \frac{574{,}2 - 1{,}647\, a_2}{174{,}0 \dotdiv 0{,}58\, a_2},$$

worin a_2 die in 100 g enthaltene Menge Kohlehydrate bedeutet. Setzen wir nun der Reihe nach für a die Werte 0, 20, 40, 60, 80, 100, so erhalten wir für k die nachstehenden Zahlen:

a	0 %	20 %	40 %	60 %	80 %	100 %
k	3,30	3,33	3,37	3,42	3,47	3,53.

Wir sehen also, dafs ein Zuwachs von 20 % Kohlehydraten den Quotienten nur um 0,03 bis 0,06 Kal., d. h. um 0,9 bis 1,8 % ändert.

Da die Quotienten aller übrigen in Frage kommenden Stoffe einander viel näher stehen als diejenigen von Eiweifs und Kohlehydraten, so wird eine Änderung des Mischungsverhältnisses, wenn der Gehalt an Kohlehydraten gleich bleibt, noch einen viel geringeren Einflufs auf den mittleren Quotienten ausüben.

Um nun die Verbrennungswärme eines solchen Substanzgemisches festzustellen, könnten wir das schon angedeutete Verfahren einschlagen, nämlich zunächst die Bestandteile ermitteln, daraus die mittlere Konstante und mit ihrer Hilfe endlich den Brennwert ableiten. Dabei brauchte, wie sich aus der angeführten Berechnung ergibt, die Zusammensetzung nur annähernd bekannt zu sein, wie sie in Nahrungsmitteltabellen zu finden ist.

Man könnte aber auch den wahren Quotienten $\frac{\text{Kal.}}{\text{O-Kap.}}$ für eine bestimmte Mischung aus Elementaranalyse und Verbrennungs-

1) a. a. O.

wärme direkt bestimmen, und diese Konstante für analoge Mischungen in Anwendung bringen.

Dieser letztere Weg führt auch dann zum Ziel, wenn die Zusammensetzung, wie das beispielsweise bei den Zersetzungsprodukten (Harn und Kot) meistens der Fall, nicht genau zu bestimmen ist, so dafs die Berechnung eines mittleren Faktors auf gröfsere Schwierigkeiten stofsen würde. Deshalb ist es gerade für solche Fälle von grofsem Werte, den Quotienten mit Hilfe der direkt gefundenen Verbrennungswärme und der Elementaranalyse festzustellen.

Einer Aufforderung Prof. E. Voits folgend, habe ich mich daher der lohnenden Aufgabe unterzogen, die Verbrennungswärme bei einigen physiologisch wichtigen Stoffen zu bestimmen. Die für die Berechnung notwendige Elementaranalyse ist mit Ausnahme der Schwefelbestimmung in allen Fällen von Prof. E. Voit ausgeführt worden.

Zur Untersuchung gelangten Futtermittel, welche in Stoffwechselversuchen bei Vögeln verwendet worden waren, nämlich:

1. Reis,
2. Weizen,
3. ausgewaschenes Muskelfleisch,

ferner die bei diesen Versuchen erhaltenen Exkremente.

Da, wenigstens wo es möglich war, von jeder Exkrementenart mehrere Proben verschiedener Herkunft geprüft wurden, so konnte gleichzeitig auch die Breite der bei unserer Methode zu erwartenden Fehlerschwankungen festgelegt werden.

Methodik.

Da die Elementaranalyse der genannten Substanzen mit Ausnahme der Schwefelbestimmungen vorlag, so war es zur Ermittelung des fraglichen Quotienten nur nötig, Verbrennungswärme und Schwefelmenge festzustellen. Die Schwefelanalyse, welche bei den untersuchten Stoffen übrigens infolge des geringen Schwefelgehaltes von untergeordneter Bedeutung ist, konnte mit der kalorimetrischen Untersuchung vereinigt werden, da der Schwefel bei dem hohen, in der Bombe herrschenden Sauerstoffdruck voll-

kommen in Schwefelsäure übergeführt wird. Nachdem die Verbrennung vollendet ist, bestimmt man zunächst die Gesamtacidität der Schwefelsäure und der bei dem Prozesse gebildeten Salpetersäure durch Titration. Dann wird die Schwefelsäure entweder gewichtsanalytisch in bekannter Weise ermittelt, oder mafsanalytisch nach einem von H. Langbein angegebenen Verfahren[1]), welches auf der Thatsache beruht, dafs Bariumnitrat durch Soda in Bariumkarbonat umgewandelt wird, Bariumsulfat dagegen ungeändert bleibt. Ich behalte mir vor, auf die Schwefelbestimmung mittels der kalorimetrischen Bombe an anderer Stelle zurückzukommen. Die Kenntnis der entstandenen Salpetersäure, welche sich aus der Differenz der Gesamtacidität und der erhaltenen Schwefelsäure ergibt, ist deshalb notwendig, weil für die Bildungswärme derselben eine Korrektur anzubringen ist.

Was nun die Feststellung der Verbrennungswärme anlangt[2]), so ist es vor allen Dingen notwendig, den Wasserwert des Apparates (Bombe, Kalorimeter und Zubehör) so genau wie möglich auszumitteln. Dies geschieht am besten dadurch, dafs man chemisch reine Substanzen von bekanntem Brennwerte verbrennt. Bezeichnen wir nämlich die bei dem Experiment gelieferte Kalorienmenge mit Kal., die beobachtete Temperatursteigerung mit Δt, die im Kalorimeter befindliche Wassermenge mit W und den Wasserwert des übrigen erwärmten Materials mit w, so ist: Kal. $= \Delta t\,(W + w)$, woraus sich ergibt:

$$w = \frac{\text{Kal.}}{\Delta t} - W.$$

Im vorliegenden Falle ist nun Kal., die entwickelte Wärmemenge, bekannt. Dieselbe setzt sich zusammen aus der durch die Verbrennung der Substanz gelieferten Wärmemenge aus der Wärmetönung bei der Oxydation des Eisendrahtes und aus der Bildungswärme der Salpetersäure.

1) Zeitschr. f. angew. Chemie 1900, H. 49 u. 50.

2) Näheres siehe Stohmann, Journ. f. prakt. Chemie Bd. 39 S. 503 ff. Louginine, Verbrennungsmethoden. Berlin 1897. Kellner, Landwirtschaftl. Versuchsstat. 47. Langbein, Zeitschr. f. angew. Chemie 1900, H. 49 und H. 50.

W ist die abgewogene Wassermenge und daher ebenso wie die Temperatursteigerung $\triangle t$ bekannt.

Ich erhielt für w folgende Werte in g Wasser ausgedrückt:

Bei Verbrennung von		
Salicylsäure	Kampher	Benzoësäure
427,5	423,5	422,6
430,1	421,0	425,4
	425,6	
	424,2	

Das Mittel aus allen Beobachtungen ist 425,0 g, d. h. ich kann mir die erwärmten Teile des Apparates bei jeder Bestimmung durch 425,0 g Wasser ersetzt denken. Bei den kalorimetrischen Untersuchungen mit dem benutzten Apparat ist daher zu der abgewogenen Wassermenge immer 425,0 g zu addieren.

Die Futterstoffe, ausgewaschenes Muskelfleisch, Weizen und Reis liefsen sich ohne Zusatz glatt verbrennen, ebenso in den meisten Fällen, die bei Weizen und Reisfütterung erhaltenen Vogelexkremente. Bei den Hungerexkrementen und den von der Eiweifsnahrung stammenden Zersetzungsstoffen war es jedoch notwendig, eine Zündmasse hinzuzufügen. Als solche diente mir Kampher, der zu einer Pastille geformt wurde. In der Regel genügte eine Pastille von 0,2 g, welche oben auf die zu verbrennende Substanz zu liegen kam. Bei sehr aschereichen Hungerkotsorten war es indessen erforderlich, die Substanz zwischen zwei Kampherpastillen von 0,2 g einzuschliefsen.

Um dem Sauerstoff leichter Zutritt zu verschaffen, habe ich von den zu verbrennenden Stoffen nie mehr als 0,5 g zu einer Pastille vereinigt. Meistens habe ich vier Pastillen auf einmal verbrannt. Bei den Hungerexkrementen war ich einige Male aus Mangel an Material genötigt, nur drei zu verwenden.

Zur Berechnung der Verbrennungswärme müssen an den durch den Versuch unmittelbar erhaltenen Resultaten noch verschiedene Korrekturen angebracht werden, zunächst für die durch Temperaturausgleich verlorene oder gewonnene Wärme.

Wenn, was leicht zu erreichen ist, die Umgebungstemperatur sich während der Beobachtung nicht ändert, kann man zur Berechnung des Wärmeverlustes oder Gewinnes die von Pfaundler und Ussow entwickelte Formel benutzen.

Da sich die Anfangstemperatur des Kalorimeterwassers willkürlich festsetzen läſst, so kann man immer dafür sorgen, daſs diese Korrektur nicht mehr als 0,6 % ausmacht. Wäre daher auch die Ermittelung des Wärmeverlustes mit kleinen Fehlern behaftet, so würde das Gesamtresultat dadurch kaum beeinträchtigt.

Eine weitere Korrektur erfordert der Umstand, daſs die gemessene Wärmemenge nicht allein durch die Verbrennung der untersuchten Substanz gebildet ist. Auſser der Verbrennungswärme selbst kommen nämlich als weitere Wärmequellen noch in Betracht: die Oxydationswärme des zur Entzündung dienenden Eisendrahtes und die Bildungswärme der entstehenden Salpetersäure. Die Korrektur für das oxydierte Eisen betrug, da immer die gleiche Eisenmenge angewendet wurde, in allen Versuchen 12,9 g Kal. = 0,3 bis höchstens 0,5 % der von der fraglichen Substanz gelieferten Wärmemenge.

Die Korrektur für Salpetersäure schwankte zwischen 7 und 25 g Kal. Das ist in der Regel 0,2 bis 0,3 %, ausnahmsweise 0,6 bis 0,8 % der Verbrennungswärme des untersuchten Stoffes.

Die Kalorienmenge des zugesetzten Kamphers betrug bei den Exkrementen der Eiweiſsnahrung 20 bis 30 %, bei den Hungerexkrementen 40 bis 50 % der im ganzen erhaltenen Wärmemenge.

Es ist selbstverständlich, daſs die Resultate um so genauer ausfallen, je gröſser der auf die zu untersuchende Substanz treffende Anteil der Verbrennungswärme ist, da alle Fehler der Bestimmung bei ihm zum Austrag kommen. Gleichwohl ist bei gut durchgeführter Untersuchung die Genauigkeit so groſs, daſs auch bei einem relativ hohen Kampherzusatz der Fehler nicht erheblich wird.

Resultate.

A. Futtermittel.

1. Reis.

Verbrennungswärme in Kilo-Kal. pro 1 g Trockensubstanz		Sauerstoffkapazität in g pro 1 g Trockensubst.	K in Kilo-Kal.
direkt bestimmt	i. Mittel		
4,305 4,300 4,298	4,301	1,221	3,524

Der direkt ermittelte Wert K für Reis ist also 3,525 Kal. Wenn ich nun anderseits den Quotienten für den Reis nach der von E. Voit entwickelten Formel berechne, indem ich als Zusammensetzung die von J. König angegebenen Mittelzahlen annehme[1]), nämlich:

7,70 % Eiweifs,

2,15 % Rohfett,

89,21 % Kohlehydrate (= 87,46 % Stärke + 1,75 % Cellulose),

so erhalte ich 3,487 statt 3,524. Die Differenz zwischen beiden Werten beträgt somit nur 1,1 %. Ebenso grofs wäre selbstverständlich der Fehler, wenn ich die Verbrennungswärme in der mir vorliegenden Reissorte nicht direkt bestimmt, sondern aus der Elementaranalyse und dem abgeleiteten Quotienten 3,487 berechnet hätte.

2. Weizen.

Verbrennungswärme in Kilo-Kal. pro 1 g Trockensubstanz		Sauerstoffkapazität in g pro 1 g Trockensubst.	K in Kilo-Kal.
direkt bestimmt	i. Mittel		
4,450 4,449 4,449 4,443	4,448	1,292	3,442

1) Dietrich u. König, Futtermittel. II. Aufl. I, S. 540. Geschälter Reis (Mittel).

Berechnet man, wie oben beim Reis, den Quotienten aus den Mittelzahlen der in Königs Tabellen sich findenden Analysen[1]), indem man als mittlere Zusammensetzung annimmt:

14,51 % Eiweifs,
1,96 % Rohfett,
81,46 % Kohlehydrate (= 78,50 % Stärke + 2,96 % Cellulose),

so erhält man 3,468 statt 3,442. Die Differenz beträgt somit hier 0,75 %.

3. Fleischfaser (fetthaltig), mit Wasser extrahiertes Muskelfleisch.

Verbrennungswärme in Kilo-Kal. pro 1 g Trockensubstanz		Sauerstoffkapazität pro 1 g Trockensubst.	K in Kilo-Kal.
direkt bestimmt	i. Mittel		
5,9420 5,9440 5,9424 5,9431	5,943	1,800	3,303

Aus den Untersuchungen von Stohmann und Langbein[2]), welche ein Präparat benutzten, das nicht nur mit Wasser, sondern auch mit Äther extrahiert worden war, ergibt sich der Quotient $K = 3,288$, der, wie man sieht, mit dem meinigen bis auf 0,5 % übereinstimmt.

Der Fettgehalt kann hier keinen Unterschied bedingen, da die Werte für K bei Fett und Eiweifs nahezu gleich sind.

Generaltabelle der Futtermittel.

	O-Kap. pro 1 g Trockensubst.	K in g Kilo-Kal.	Verbrennungsw. in Kilo-Kal.
Reis	1,221	3,525	4,301
Weizen . . .	1,292	3,442	4,448
Fleischfaser	1,800	3,303	5,943

1) Dietrich u. König, Futtermittel. II. Aufl. I, S. 409. Mittel aus 397 Analysen.

2) Journ. f. prakt. Chemie 1891, Bd. 44 S. 336.

B. Vogelexkremente.

Hier habe ich den Quotienten von verschiedenen Exkrementen bestimmt. In der Regel konnten von der gleichen Substanz mehrere Proben verwendet werden. Beim Hungerkot mufste ich mich indessen einige Male, weil der Vorrat nicht reichte, mit einer Bestimmung begnügen.

Hungerkot.

Tabelle a.

Versuchstier	Verbrennungswärme in Kilo-Kal. pro 1 g Trockensubstanz direkt bestimmt	pro 1 g Trockensubstanz i. Mittel	pro 1 g weinsäurefreie Substanz[1])	pro 1 g weinsäurefr. aschefr. Subst.	Sauerstoffkapazität pro 1 g weinsäurefreie Substanz	K in Kilo-Kal. pro 1 g Sauerstoff
I	3,020 3,021	3,021	3,064	3,522	0,969	3,161
I	3,387	3,387	3,387	4,005	1,084	3,125
II	3,076	3,076	3,197	3,782	1,044	3,065
III	3,397	3,397	3,397	4,083	1,038	3,273

Der Mittelwert für $K = 3,156$. Die maximale Abweichung vom Mittel beträgt 3,7 %.

Handelte es sich nun darum, die Verbrennungswärme einer gleichen Exkrementenart zu berechnen, so würde man ohne Kenntnis der erörterten Beziehungen zwischen Verbrennungswärme und Elementaranalyse das Mittel der für die Verbrennungswärme gefundenen Werte einsetzen und zwar womöglich das Mittel der auf organische Substanz bezogenen Zahlen, um die durch den wechselnden Aschegehalt hervorgerufenen Ungenauigkeiten auszuschalten. Vorzuziehen ist es aber, die Berechnung mit Hilfe des mittleren Quotienten K auszuführen.

Inwieweit nun die auf die eine und die andere Art berechneten Zahlen mit den gefundenen übereinstimmen, zeigt Tabelle b.

---

1) Bei einigen Kotsorten von nicht deutlich saurer Reaktion war, um einen Verlust an Stickstoff beim Eintrocknen zu vermeiden, Weinsäure zugesetzt worden.

Tabelle b.

Versuchstier	Verbrennungswärme in Kilo-Kal. pro 1 g aschefreie Substanz				
	Gefunden	Berechnet aus dem mittleren *K*-Werte	Unterschied in %	Berechnet aus dem mittleren Brennwerte	Unterschied in %
I	3,522	3,515	— 0,2	3,847	+ 8,4
I	4,005	4,045	+ 1,0	3,847	— 4,1
II	3,781	3,886	+ 2,7	3,847	+ 1,7
III	4,082	3,937	— 3,7	3,847	— 6,1

Wie man sieht, stimmen im allgemeinen die nach der letzteren Methode ermittelten Werte besser mit den direkt gefundenen überein als die nach der ersteren erhaltenen Zahlen.

Exkremente bei gemischter Nahrung.

1. Reisfütterung.

Tabelle a.

Versuchstier	Verbrennungswärme in Kilo-Kal.				Sauerstoffkapazität pro 1 g weinsäurefreie Substanz	*K* in Kilo-Kal. pro 1 g Sauerstoff
	Trockensubstanz pro 1 g		pro 1 g weinsäurefreie Substanz[1]	pro 1 g weinsäure-fr. asche-fr. Subst.		
	direkt bestimmt	i. Mittel				
I	3,821 3,818	3,820	3,820	4,241	1,147	3,330
I	3,837 3,839	3,838	3,890	4,393	1,161	3,352
II	3,703 3,714 3,710	3,709	3,749	4,141	1,137	3,298
III	4,119 4,114	4,116	4,116	4,513	1,265	3,256

Der mittlere Faktor ist 3,309, die maximale Abweichung vom Mittel ist = 1,6 %.

In der folgenden Tabelle b sind wiederum die auf die beiden Arten berechneten Verbrennungswärmen mit den gefundenen zusammengestellt.

1) Auch hier war aus dem erwähnten Grunde in einigen Fällen Weinsäure zugesetzt worden.

Tabelle b.

Versuchstier	Verbrennungswärme in Kilo-Kal. pro 1 g aschefreie Substanz				
	Gefunden	Berechnet aus dem mittleren K-Werte	Unterschied in %	Berechnet aus dem mittleren Brennwerte	Unterschied in %
I	4,241	4,213	— 0,7	4,322	+ 1,9
I	4,393	4,338	— 1,3	4,322	— 1,6
II	4,141	4,155	+ 0,3	4,322	+ 4,2
III	4,513	4,590	+ 1,7	4,322	— 4,4

Auch hier ist die Übereinstimmung mit den gefundenen Werten gröfser bei Benutzung des mittleren Quotienten K als bei Benutzung des mittleren Brennwertes.

2. Weizenfütterung.

Tabelle a.

Versuchstier	Verbrennungswärme in Kilo-Kal.			Sauerstoffkapazität	K in Kilo-Kal.
	pro 1 g Trockensubstanz		pro 1 g aschefreie Substanz		
	direkt bestimmt	i. Mittel			
I	3,452 3,446	3,449	4,378	1,049	3,288
II	3,701 3,697 3,704 3,730 3,716	3,710	4,474	1,095	3,389

Der mittlere Quotient $K = 3{,}339$.

Tabelle b.

Versuchstier	Verbrennungswärme in Kilo Kal. pro 1 g aschefreie Substanz				
	Gefunden	Berechnet aus dem mittleren K-Werte	Unterschied in %	Berechnet aus dem mittleren Brennwerte	Unterschied in %
I	4,378	4,447	+ 1,5	4,426	+ 1,1
II	4,474	4,409	— 1,5	4,426	— 1,1

Exkremente bei Fütterung mit Eiweifs (=Fleischfaser).

Tabelle a.

Versuchstier	Verbrennungswärme in Kilo-Kal. pro 1 g Trockensubstanz direkt bestimmt	Verbrennungswärme in Kilo-Kal. pro 1 g Trockensubstanz i. Mittel	Verbrennungswärme in Kilo-Kal. pro 1 g aschefreie Substanz	Sauerstoffkapazität pro 1 g Trockens.	K in Kilo-Kal.
I	3,3514 3,3715	3,3615	3,500	1,029	3,267
II	3,2574 3,2745 3,2801 3,2824 3,2780	3,2745	3,530	1,012	3,236
II	3,2930 3,2947	3,2939	3,444	1,019	3,233

Der mittlere K-Wert ist 3,25; die maximale Abweichung vom Mittel beträgt 0,6 %.

Tabelle b.

Versuchstier	Verbrennungswärme in Kilo-Kal. pro 1 g aschefreie Substanz: Gefunden	Berechnet aus dem mittleren K-Werte	Unterschied in %	Berechnet aus dem mittleren Brennwerte	Unterschied in %
I	3,500	3,482	− 0,5	3,491	− 0,3
II	3,530	3,544	+ 0,4	3,491	− 1,1
II	3,444	3,462	+ 0,5	3,491	+ 1,3

Generaltabelle zu den Vogelexkrementen.

Art der Exkremente	Verbrennungswärme in Kilo-Kal. pro 1 g aschefr. Subst. im Mittel	K in Kilo-Kal.
Hungerexkremente . . .	3,844	3,16
Exkremente bei gemischter Fütterung:		
1. bei Reisfütterung . .	4,322	3,31
2. » Weizenfütterung .	4,426	3,34
Exkremente bei Fütterung mit ausgewasch. Fleisch	3,491	3,25

Aus der vorliegenden Untersuchung geht also hervor, dafs wir nicht allein bei chemischen Individuen, sondern auch bei Substanzgemengen die Verbrennungswärme mit hinreichender Schärfe aus dem Quotienten K und der Elementaranalyse berechnen können, da es erlaubt ist, die durch das Experiment festgestellte Konstante K bei Substanzgemengen gleicher Gattung zu verwenden.

Über den Einflufs verschiedener Nahrungsmittel auf den Wassergehalt der Organe und den Hämoglobingehalt des Blutes.

Von

Jiro Tsuboi.

(Aus dem physiologischen Institut zu München.)

Schon vor 40 Jahren hat Carl Voit[1]) bei Fütterung eines 34 kg schweren Hundes mit Brot (857 g täglich) während sechs Tagen die Beobachtung gemacht, dafs derselbe in dieser Zeit 196 g Eiweifs, d. i. 924 g Fleisch und wahrscheinlich auch noch etwas Fett von seinem Körper verlor, aber unter Aufnahme von 4855 ccm Wasser nur um 296 g leichter wurde; das Tier mufste also von dem aufgenommenen Wasser an seinem Körper angesetzt oder auch Wasser von dem zersetzten Fleisch zurückbehalten haben (628 g). Dafs dieser Schlufs richtig war, geht unzweifelhaft daraus hervor, dafs, als das Tier nach der Brotfütterung viel Fleisch (1756 g im Tag) ohne Wasserzusatz erhielt, es Wasser in beträchtlicher Menge von seinem Körper abgab, denn im Harn allein befanden sich am ersten Fleischtage 1278 g Wasser, im verzehrten Fleisch waren aber nur 1332 g Wasser vorhanden, so dafs für die Wasserabgabe durch Haut und Lunge von dem im Fleisch aufgenommenen Wasser fast nichts mehr

1) Bischoff u. Voit, Die Gesetze der Ernährung des Feischfressers. 1860, S. 207.

übrig bleibt; es ist offenbar das vorher bei der Brotfütterung im Körper aufgespeicherte Wasser im Harn wieder abgegeben worden. Obwohl an diesem Tage am Körper 61,8 g Eiweifs, d. i. 291 g Fleisch zum Ansatz gelangten, so nahm das Tier infolge des Wasserverlustes durch den Harn doch um 330 g an Gewicht ab.

Noch schlagender war das Resultat eines zweiten Versuchs. In einer langen Brotreihe[1]), bei welcher der Hund während 41 Tagen im Mittel im Tag 771 g Brot frafs und 744 ccm Wasser trank, nahm er um 531 g an Gewicht ab; er verlor aber während dieser Zeit 790 g Eiweifs, d. i. 3717 g Fleisch und wahrscheinlich auch noch etwas Fett; es hatte demnach ein beträchtlicher Ansatz von Wasser aus dem getrunkenen Wasser oder eine Zurückhaltung von Wasser aus dem zersetzten Fleisch stattgefunden (3186 g). Als nun das Tier danach 1800 g Fleisch im Tag erhielt, liefs es das bei der Brotfütterung aufgespeicherte Wasser, so zu sagen, in Strömen fahren. Trotz der Aufnahme von 1800 g Fleisch, von denen es am ersten Tage 608 g (= 127 g Eiweifs) ansetzte, verlor es an diesem Tage 310 g an Gewicht; es gab also 918 g Wasser ab; im Harn allein waren 1555 g Wasser enthalten, während im Fleisch und im gesoffenen (210 ccm) Wasser nur 1579 g aufgenommen worden waren.

Den gleichen Wasseransatz bei Brotkost haben später Pettenkofer und Voit[2]) gefunden und zwar bei direkter Bestimmung der Wasserausscheidung durch Haut und Lunge. Als sie einem Hunde 800 g Brot gaben, verlor derselbe am dritten Tage 10,6 g Eiweifs von seinem Körper, entsprechend 50 g Fleisch, und setzte 4 g Fett und 326 g Wasser an. Bei Fütterung mit 900 g Brot[3]) gab der Hund am vierten Tage 8,1 g Eiweifs, d. i. 39 g Fleisch, ab, setzte aber 19 g Fett und 89 g Wasser an.

Bei der unvollkommenen Ernährung mit Brot, wobei täglich noch etwas Eiweifs zu Verlust ging, wurde also der Körper in allen diesen Versuchen wäfsriger; bei darauf folgender Fütterung mit Fleisch wird das vorher aufgestapelte Wasser wieder abgegeben.

1) a. a. O. S. 210.

2) Pettenkofer u. Voit, Zeitschr. f. Biol. 1873, Bd. 9 S. 499.

3) a. a. O. S. 501.

Um diese ihm wichtig erscheinende Thatsache direkt zu erhärten, fütterte C. Voit[1]) zwei Katzen längere Zeit ausschlieſslich mit Brot; dieselben nahmen dabei an Gewicht ab, wurden schwach und gingen zu Grunde. Bei der Sektion fanden sich die Tiere völlig fettlos. Das eine Tier, welches während 20 Tagen das Brot erhalten hatte, enthielt im Muskel 23,35 %, im Gehirn 20,50 % feste Teile; das zweite, welches 46 Tage vom Brote gelebt hatte, enthielt im Muskel nur 20,49 %, im Gehirn nur 19,31 % feste Teile; eine dritte Katze dagegen, die wie gewöhnlich mit gemischter Kost gefüttert worden war, enthielt im Muskel 25,82 %, im Gehirn 23,82 % feste Teile.

Es war dadurch auch auf diesem Wege völlig sicher gestellt, daſs das Brot den Körper wäſsriger macht.

Elf Jahre danach hatte Subbotin[2]) in Voits Laboratorium die damals von Preyer angegebene Methode der Bestimmung des Hämoglobins im Blute angewendet, um den Gehalt an Hämoglobin bei Kaninchen und Hunden nach Aufnahme verschiedener Nahrung zu ermitteln. Er hat die Resultate seiner Versuche unter dem Titel: »Einfluſs der Nahrung auf den Hämoglobingehalt des Blutes« veröffentlicht. Es zeigten sich darin beträchtliche Verschiedenheiten nach Zufuhr verschiedener Nahrung; ich stelle die hauptsächlichsten damaligen Ergebnisse an Kaninchen und Hunden in der Tabelle (S. 379) zusammen:

Subbotin schloſs daraus, daſs eine Verminderung im Hämoglobingehalte des Blutes nicht von einem teilweisen oder gänzlichen Hunger herrühren kann, da der hungernde Hund am 38. Hungertage so viel Hämoglobin enthält wie am ersten Hungertage, und der Pflanzenfresser beim Hunger sogar eine Zunahme des Hämoglobingehaltes zeigt. Er machte ferner darauf aufmerksam, daſs sich ganz anders wie beim Hunger die Hämoglobinmenge bei ungenügender Nahrung, bei welcher der Körper und das Blut wäſsriger werden, verhält. Es ist nach ihm die Art der Ernährung von Einfluſs auf den Hämoglobingehalt. Das Kaninchen, welches während 15 Tagen Heu erhielt und davon täglich 50 g Trockensubstanz verzehrte und nur 11,8 g re-

1) a. a. O. S. 214.
2) Subbotin, Zeitschr. f. Biologie 1871, Bd. 7 S. 185.

No.	Tier	Gewicht des Tieres in kg	Nahrung	Dauer des Versuches in Tagen	Hämoglobin in 100 ccm Blut	Blut in 100 g Körpergewicht	Hämoglobin in 100 g Körpergewicht
1.	Kaninchen	—	Heu (12 g i. Tag trocken resorb.)	15	7,10	—	—
2.	»	—	Kartoffel	50	7,52	—	—
3.	»	—	Rüben u. Kohl	—	8,16	—	—
4.	»	1,321	Pflanzenkost gemischt	—	8,75	3,98	0,346
5.	»	1,469	Pflanzenkost gemischt	—	8,85	—	—
6.	»	—	Brot	52	8,97	—	—
7.	»	1,070	Hunger	14	9,50	3,66	0,348
1.	Hund	—	Fett und Stärke	26	11,65	—	—
2.	» (No. 1)	15,9	» » »	38	9,52	7,15	0,680
3.	»	—	200 Fl., 100 F., 250 St.	1	13,80	—	—
4.	» (No. 3)	22,6	200 Fl., 100 F., 250 St.	28	12,96	—	—
5.	»	—	Fleisch	18	13,80	—	—
6.	»	—	Brot	20	9,37	—	—
7.	»	7,92	»	36	10,32	8,30	0,843
8.	» (alt)	6,68	gut genährt	—	11,27	6,81	0,767
9.	» (zieml. fett)	3,48	» »	—	13,26	5,51	0,731
10.	»	—	» »	—	13,52	—	—
11.	»	9,5	Hunger	1	13,80	—	—
12.	» (No. 11)	4,98	»	38	13,33	5,32	0,710
13.	» (alt u. fett)	31,65	»	28	12,04	7,07	0,852

sorbierte, hatte die kleinste Menge Hämoglobin; etwas mehr das mit Kartoffeln oder mit Rüben und Kohl gefütterte; am meisten das mit Brot gefütterte. Noch deutlicher tritt dieser Einfluſs bei Hunden hervor; nach Aufnahme von Fleisch oder eiweiſsreichem Futter betrug die Hämoglobinmenge 13,73 % im Mittel (Nr. 3, 5, 9, 10); bei ausschlieſslicher Fütterung mit stickstofffreien Stoffen an 26 Tagen sinkt sie auf 11,65 %, an 38 Tagen auf 9,12 % herab; bei Fütterung mit 200 Fleisch, 100 Fett und 250 Stärkemehl nimmt sie vom 1. bis zum 28. Tage von 13,80 % auf 12,96 % ab; bei Verzehren von Brot beträgt sie nur 9,37 bis

10,32 %. Es schien, als ob fettreiche Tiere etwas weniger Hämoglobin im Blute enthalten; beim Hunger findet sich dieselbe Menge wie bei der Fleischfütterung. Eine eiweifsarme und an stickstofffreien Stoffen, namentlich an Stärkemehl reiche Nahrung macht weniger Hämoglobin; die pflanzenfressenden Kaninchen enthalten darum gewöhnlich weniger als die Fleischfresser.

Es schien demnach durch die Versuche von C. Voit und von Subbotin festgestellt zu sein, dafs die Art der Nahrung von mafsgebendem Einflufs auf die stoffliche Zusammensetzung des Körpers ist, und zwar derjenigen ungenügenden oder unrichtigen, längere Zeit aufgenommenen Nahrung, welche den ganzen Körper wäfsriger macht und dadurch zugleich den Hämoglobingehalt des Blutes herabdrückt. Man sollte es eigentlich für selbstverständlich halten, dafs eine schlechte Ernährungsweise beim Menschen z. B. fast ausschliefslich mit Kartoffeln, welche den Leuten ein kränkliches Aussehen gibt und sie schwächlich macht, sich auch in der Zusammensetzung der Organe ausdrückt gegenüber einer rationellen oder richtigen Ernährungsweise.

Dagegen suchte nun H. v. Hoefslin[1]) in einer sehr bemerkenswerten, interessante Beobachtungen und Ergebnisse enthaltenden Abhandlung: »Über den Einflufs ungenügender Ernährung auf die Beschaffenheit des Blutes« darzuthun, dafs die dauernd ungenügende, schlechte Ernährung (S. 137) nicht die Ursache der Abnahme des Hämoglobingehaltes des Blutes sei, denn es trete nicht mit jeder schlechten oder mangelhaften Ernährung eine Abnahme des Hämoglobingehaltes ein[2]).

Er hebt zunächst besonders hervor, dafs bei hochgradigst abgemagerten Personen, z. B. bei chronischer Lungenphthise, der Hämoglobingehalt des Blutes häufig nicht wesentlich vermindert

1) H. v. Hoefslin, Sitzungsber. d. Ges. f. Morph. u. Physiol. i. München 1890, S. 119, und Münch. med. Wochenschr. 1890, No. 38 u. 39.

2) Hoefslin sagt (S. 122), die früheren Untersuchungen (Verdeil, Subbotin u. a.) waren sämtlich ganz unsystematisch und teilweise mit fehlerhaften Methoden ausgeführt. Inwiefern Subbotins Versuche unsystematisch sein sollen, ist nicht näher angegeben; ob er auch die Preyersche Methode für fehlerhaft hält, ist nicht ersichtlich; jedenfalls sind ihre Fehler nicht so grofs, dafs sie die erhaltenen Resultate wesentlich beeinträchtigen könnten.

sei. Es ist aber klar, dafs die Phthisiker nicht deshalb abmagern, weil sie eine schlechte und unrichtig zusammengesetzte Kost aufnehmen, sondern weil sie von der ihnen zu Gebote stehenden meist vortrefflichen Kost nicht genügend essen können, um den kranken Körper zu erhalten; ihr Körper ist allerdings in schlechtem Ernährungszustande, aber ihre Nahrung ist zumeist ausgezeichnet zusammengesetzt und würde einen gesunden Körper trefflich ernähren. Ein verhungerter Organismus zeigt gewifs den denkbar schlechtesten Ernährungszustand und trotzdem hat er eine normale Hämoglobinmenge des Blutes wie der bestgenährte. Bei den Versuchen Subbotins handelt es sich nur um den Einflufs der Art der Nahrung, und zwar um den Einflufs unrichtig zusammengesetzter Nahrungsmittel.

Er sucht weiterhin teils aus den von Anderen ausgeführten experimentellen Untersuchungen, teils aus eigenen darzuthun, dafs die Nahrungsmenge oder die Gröfse der Nahrungszufuhr auf die Blutbeschaffenheit nur einen geringen Einflufs ausübt. Während er Subbotins Versuche verwirft, führt er gegen letztere die in Panums Laboratorium mit Dr. Sorensen an Hunden gemachten Untersuchungen von Joh. Buntzen über den Einflufs der Ernährung und der Blutverluste auf das Blut (1879) an[1]). Buntzen hat zunächst gezeigt, dafs nach einer reichlichen, aus festen Nahrungsmitteln (Brot, Fleisch etc.) bestehenden Mahlzeit im Laufe der ersten Stunden eine relative Vermehrung der Blutkörperchenzahl (um 8—25 %) eintritt, die aber nach zwei bis vier Stunden wieder zur ursprünglichen Gröfse absinkt; er leitet diese relative Vermehrung der Blutkörperchenzahl nach einer reichlichen Mahlzeit von der starken Sekretion von Flüssigkeit in den Darm während der Verdauung ab. Beim Hunger fand er eine relative Zunahme der Blutkörperchenzahl und zwar nach seiner Meinung dadurch, dafs während des Hungers die Blutkörperchen weniger rasch zu Verlust gehen wie das Plasma.

1) Joh. E. Buntzen, Om Ernäringens og Blodtabets Indflydelse på Blodt. Doctordisputats, Köbenhavn 1879; Referat von Panum in Virchow-Hirsch' Jahresbericht 1879, I, S. 125 und von Hammarsten in Malys Jahresbericht 1879, Bd. 9 S. 89.

Führte er nach vorausgehendem Hunger Nahrung (500 g Fleisch) zu, dann sinkt die Zahl der Blutkörperchen (bis zum neunten Tage) und hebt sich erst nach verhältnismäfsig langer Zeit wieder; das Sinken kommt nach ihm von dem rascheren Ersatz des Plasmas bei der nach dem Hunger folgenden Nahrungsaufnahme. Nach darauf folgender Fütterung mit gröfseren Mengen von Fleisch (1000 g) nimmt die Zahl der Blutkörperchen abermals relativ ab und steigt wieder, wenn das Tier mit weniger Fleisch gefüttert wird; auch dies erklärt er durch eine raschere Neubildung des Plasmas gegenüber den Blutkörperchen. Wie man ersieht, können die Versuche von Buntzen gar nicht mit denen von Subbotin verglichen werden. Bei den Versuchen des ersteren wird im wesentlichen nur der Einflufs verschiedener Quantitäten von Fleisch bis zu Null auf die Blutkörperchenzahl geprüft; der letztere hat dagegen die längere Zeit fortgesetzte Fütterung mit qualitativ verschiedenen Nahrungsmitteln auf die Hämoglobinmenge studiert; selbstverständlich erfolgt beim Hunger und bei Zufuhr verschiedener Quantitäten Fleisch keine erhebliche Änderung in der Zahl der Blutkörperchen oder der Hämoglobinmenge, hat ja doch Subbotin selbst zuerst nachgewiesen, dafs die Hämoglobinmenge beim Hunger die gleiche ist wie bei reichlicher Fütterung mit Fleisch. Buntzen hat überdies die Hämoglobinmenge, die nicht immer Hand in Hand mit der Zahl der Blutkörperchen geht, gar nicht bestimmt.

Um zu zeigen, dafs die Nahrungsmenge keinen direkten Einflufs auf den Hämoglobinreichtum des Blutes hat, fütterte H. v. Hoefslin zwei junge Hunde gleichen Wurfs von 3 kg Gewicht auf, den einen nur mit der Hälfte der Nahrungsmenge des andern (welche Nahrung dies war, ist nicht angegeben) und doch fand sich nach 124 Tagen, ja nach 1½ Jahren, bei beiden fast die gleiche Hämoglobinmenge vor, obwohl der eine 30,3 kg, der andere nur 9,5 kg wog[1]). Dadurch werden aber die Ergebnisse

1)

Gewicht in kg	Hämoglobin in %	% feste Teile im Blut	% feste Teile im Serum
30,3	17,6	24,16	8,61
9,5	15,5	22,23	7,75.

Immerhin enthält der reichlicher ernährte Hund 2,1 % Hämoglobin mehr in seinem Blute und auch mehr feste Teile im Blut und im Serum.

von Subbotin nicht getroffen, denn wenn der eine der beiden jungen Hunde auch nur halb so viel Nahrung erhielt wie der andere, so braucht dies noch keine qualitativ schlechte Nahrung zu sein, es ist nur quantitativ zu wenig; Subbotin hat, wie gesagt, schon längst dargethan, dafs die Menge der Nahrung keinen Einflufs auf den Hämoglobingehalt des Blutes besitzt, indem er zeigte, dafs ein hungernder Hund prozentig noch die gleiche Menge Hämoglobin in seinem Blute enthält wie ein reichlich mit Fleisch gefütterter.

H. v. Hoefslin hat ferner zwei jungen, 7 Monate alten, von Jugend auf schlecht genährten Hunden nach Belieben dem einen (a) Milch mit Weifsbrot, dem andern (b) ein Gemisch von Fleisch- und Brotabfällen mit Knochen etc. gereicht, und zwar während 18 Tagen. Nr. a hatte vorher 10,4% Hämoglobin und 6,75 Mill. Blutkörperchen, dann 9,3% und 5,55 Mill.; Nr. b vorher 10,4% Hämoglobin und 6,33 Mill. Blutkörperchen, dann 11,7% und 5,43 Mill. Daraus schliefst er, dafs die bessere Ernährung nach der schlechteren eine starke Verdünnung des Blutes bewirkt habe. Es wird aber nicht gesagt, in was denn vorher die schlechte Ernährung bestanden hat und was er unter besserer Ernährung versteht; die Tiere können vorher bei der sogenannten schlechten Ernährung in teilweisem Hungerzustand gewesen sein und dann bei Fütterung mit einer zur Milch und zum Fleisch überschüssigen Brotmenge wäfsriger und daher hämoglobinärmer geworden sein (bei Nr. b ist übrigens der Hämoglobingehalt gestiegen).

Endlich sucht H. v. Hoefslin zu beweisen, dafs der gröfsere Eiweifsgehalt der Nahrung nicht den mächtigen Einflufs auf die Hämoglobinmenge des Blutes ausübt, den man ihm zuzuschreiben pflegt. Zu diesem Zweck fütterte er während 218 Tagen zwei junge Hunde gleichen Wurfs, den einen mit 450—500 g reinem Fleisch, den zweiten mit 60—30 g Reis, 24—45 g Speck und 42—52 g Fleisch[1]).

1) Der eiweifsreich gefütterte Hund erhielt nach meiner Berechnung täglich im Mittel etwa 95 g Eiweifs mit 360000 Wärmeeinheiten; der eiweifsarm gefütterte Hund 13,3 g Eiweifs, 33,2 g Fett und 35,1 g Kohlehydrate mit 510300 Wärmeeinheiten.

Es wurden dabei erhalten:

		Hämoglobin in %	Blutk. in Mill.	% feste Teile im Blut	im Serum
Eiweifsreich	Anfang	11,3	5,24	18,0	—
»	Ende	15,6	6,76	22,2	7,16
Eiweifsarm	Anfang	11,4	5,32	18,1	—
»	Ende	13,8	6,11	18,9	7,47.

Er meint nun, das zweite Tier habe das Minimum von eiweifsartiger Substanz erhalten, mit dem der Organismus eben noch auskommen konnte und trotzdem nicht wesentlich weniger Hämoglobin enthalten als das eiweifsreich gefütterte. Es mufs jedoch bemerkt werden, dafs die Hämoglobinmenge bei der eiweifsarmen Nahrung am Ende nicht unbeträchtlich niederer war und ebenso die Trockensubstanz des Blutes als bei der eiweifsreichen Nahrung. Aber Subbotin wenigstens hat nicht geglaubt, dafs der gröfsere Eiweifsgehalt der Nahrung stets einen mächtigen Einflufs auf den Hämoglobingehalt besitzt, denn wenn er beim Hunger noch ebensoviel Hämoglobin vorfindet wie bei der reichlichsten Eiweifszufuhr durch Fleisch, so konnte er doch so etwas nicht annehmen. Er machte nur darauf aufmerksam, dafs bei seinen an Hunden und Kaninchen angestellten Versuchen bei verschiedener Art der Nahrung die Hämoglobinmenge mit der Eiweifsmenge der Nahrung abnimmt.

C. Voit und Subbotin haben also niemals behauptet, dafs die zu geringe Quantität der Nahrung oder die Menge ein und desselben Nahrungsmittels oder der Eiweifsgehalt der Nahrung bei ihren Versuchen bestimmend für den Hämoglobingehalt war, sondern vielmehr eine unrichtige Art der Nahrung; es werden daher die Resultate ihrer Untersuchungen durch die Ergebnisse und Darlegungen von H. v. Hoefslin, welche an und für sich ganz richtig sein mögen, nicht widerlegt; man mufs eben unterscheiden zwischen einem durch eine zu geringe Menge einer sonst guten und richtigen Nahrung abgemagerten Körper und den Folgen einer unrichtig oder ungünstig zusammengesetzten Nahrung, wobei die Quantität ausreichend sein kann.

Schon vor C. Voit und Subbotin wurden einzelne Angaben gemacht, aus denen hervorgeht, dafs das Blut bei verschiedener

Nahrung verschieden zusammengesetzt ist; so sah z. B. Hermann Nasse[1]) bei Hunden nach längerer Fleischfütterung ein etwas höheres specifisches Gewicht des Blutes mit mehr festen Bestandteilen als bei Brotfütterung. Es hat ferner Verdeil[2]) in dem Liebigschen Laboratorium im Blute eines während 18 Tagen mit Fleisch gefütterten Hundes mehr Eisenoxyd gefunden als bei Fütterung mit Brot und Kartoffeln während 20 Tagen; bei ersterem in der Asche 12,75 %, bei letzterem nur 8,65 %. Nach Voit und Subbotin hat Leichtenstern[3]) an sich selbst bei reichlicher Ernährung ein beträchtliches Steigen des Hämoglobingehalts gefunden.

Ein Versuch von J. Munk[4]) zeigte eine Wasserzunahme des Körpers bei ungenügender Ernährung; er beobachtete nämlich bei einem Hunde, der neben reichlichen Mengen von Fett und Kohlehydraten die geringste Menge von Eiweifs bekam, welche ihn während 6 Wochen eben auf dem Stickstoffgleichgewicht erhielt, später aber während 4 Wochen eine Stickstoffabgabe vom Körper bewirkte, einen Verlust von 1000 g Körperfleisch, jedoch nur eine Gewichtsabnahme von 500 g, so dafs 500 g Wasser und Fett angesetzt worden sein mufsten. E. Grawitz[5]) fand am Menschen in 4 Versuchen von 4—8 Tagen Dauer bei eiweifsarmer und an Brennwert unzureichender Nahrung unter beträchtlichem Eiweifsverlust einen gröfsern Wassergehalt des Blutes, welcher vorzugsweise das Blutserum betraf, das wie das Gesamtblut auch weniger Eiweifs enthielt; er sagt, dafs dies vielleicht eine Teilerscheinung einer allgemeinen Wasseraufnahme des Körpers sei.

---

1) H. Nasse, Einflufs der Nahrung auf das Blut. Marburg 1850.

2) Verdeil, Liebigs Annalen 1849, Bd. 69 S. 89.

3) Leichtenstern, Untersuchungen über den Hämoglobingehalt des Blutes. Leipzig 1878.

4) J. Munk, du Bois' Archiv f. Physiol. 1891, S. 338.

5) E. Grawitz, Untersuchungen über den Einflufs ungenügender Ernährung auf die Zusammensetzung des menschlichen Blutes. Berliner klin. Wochenschr. 1895, No. 48 S. 1047; Klinische Pathologie des Blutes 1896, S. 65—71.

Da demnach die Frage nach dem Einflufs der Ernährungsweise auf den Wassergehalt des Körpers und auf den Hämoglobingehalt des Blutes immer noch in verschiedener Weise beantwortet wird, es aber ungemein wichtig ist, das Richtige hierüber zu kennen, so hat mich Prof. C. Voit schon im Jahre 1890 veranlafst, bei meinem Aufenthalte in München in seinem Laboratorium in dieser Richtung nochmals einige Versuche anzustellen[1]), und zwar unter Bestimmung des Wassergehaltes des Muskels und des Bluts, sowie des Hämoglobingehaltes des letzteren nach der Vierordtschen Absorptionsmethode, wobei uns der leider zu früh verstorbene Gerhard Krüfs behilflich war. Es wurden zunächst Versuche gemacht an drei Katzen, von denen die eine mit Fleisch und Speck, die beiden anderen mit Semmel unter Zusatz von etwas Fleischextrakt gefüttert wurden. Dann an Kaninchen bei Fütterung mit Milch und Semmel unter Zusatz von etwas Heu, ferner bei Fütterung mit Kartoffeln und endlich bei Fütterung mit Heu. Bei allen diesen Versuchen wurde die Menge und Zusammensetzung des verzehrten Futters und zum Teil auch des entleerten Kotes bestimmt.

I. Versuche an drei Katzen.

Katze No. 1.

Bei Aufnahme von 200 g Fleisch und 10 g Speck[2]) täglich. Der Versuch währte vom 25. November 1890 bis 6. Februar 1891, d. i. während 72 Tagen. Das Körpergewicht des Tieres betrug bei Beginn des Versuchs 3279,5 g, am Ende des Versuchs 3668,5 g; es hatte also eine Gewichtszunahme um 329,0 g = 4,5 g im Tage = 10% stattgefunden[3]).

1) Vorläufige Mitteilung hierüber von C. Voit in den Sitzungsberichten der Kgl. b. Akad. d. Wiss. 1892, S. 21.

2) Am 24. Januar nahm die Katze nur 5 g Speck auf und am 24. und 25. Januar gar keinen; an den fünf ersten Tagen wurde kein Speck gegeben. An den ersten 13 Tagen erhielt sie je 50 ccm Wasser, dann nur 25 ccm.

3) Am 18. Tage wog die Katze 3092,5 g, am 40. Tage 3261,5 g.

In den 72 Tagen hat die Katze gefressen:

14400 g Fleisch[1]) mit 3470,4 festen Teilen,			
	2880,0 g Eiweifs	und	129,6 g Fett,
720 » Speck mit	10,1 » »	»	679,7 » »
Summe:	2890,1 g Eiweifs	und	809,3 g Fett,

also täglich in 200 Fleisch und 10 Speck: 57,78 g feste Teile, 40,14 g Eiweifs und 11,24 g Fett, dazu täglich 25 ccm Wasser.

Die Bestimmungen des Wassers und der festen Teile ergaben:

	Wasser in %		Feste Teile in %	
In der Leber .	67,52	67,27	32,48	32,73
» » » .	67,01		32,99	
In den Muskeln	74,27	74,39	25,73	25,61
» » »	74,51		25,49	
Im Blut (aus der Carotis)	79,94	80,05	20,06	19,95.
	80,15		19,85	

Im Blut fanden sich 10,97 % Hämoglobin vor, im trockenen Blut 54,96 % Hämoglobin.

Katze No. 2.

Bei Aufnahme von Semmel mit 5 g Fleischextrakt und etwas Kochsalz vom 26. November bis 20. Dezember 1890 während 24 Tagen. Das Fleischextrakt und das Salz wurden zugegeben, um das Brot schmackhaft zu machen. Vom 7. Tage an wurde die Semmel in heifsem Wasser, mit Extrakt und Salz, eingeweicht, so dafs dadurch das nötige Wasser zugeführt wurde. Das Tier frafs von dem Futtergemisch sehr verschiedene Mengen, zumeist zwischen 57—100 g Semmel. Am 17. Dezember wurde es unruhig und schwach, frafs aber noch 60 g Semmel, am 18. Dezember nahm es nur noch 30 g davon auf, am 19. Dez. nichts mehr, so dafs es getötet werden mufste. Bei der Sektion fanden sich die Organe normal, nur zeigten sich der Magen und der Darm im höchsten Grade blutleer; das Fettgewebe war ganz verschwunden.

---

1) In 100 g Fleisch sind 24,1 feste Teile, 20,0 g Eiweifs und 0,9 g Fett; in 100 g Speck sind 95,8 feste Teile, 1,4 g Eiweifs und 94,4 g Fett.

Das Körpergewicht des Tieres betrug:

am 1. Versuchstage 3449,5 g,
» 17. » 2826,5 g und
» 24. » 2369,5 g;

es nahm also bei dem Futter beständig an Gewicht ab, im ganzen in 24 Tagen um 1080,0 g = im Tage im Mittel um 45 g = 31 %. Das aufgenommene Futter reichte daher nicht hin, um den Körper zu erhalten, so daſs das Tier schlieſslich verhungert wäre.

Während der 24 Tage hat die Katze gefressen: 1520,1 g Semmel[1]) mit 1085,35 festen Teilen, 145,93 g Eiweiſs, 15,20 g Fett, 913,58 g Kohlehydrat und 87,2 g Fleischextrakt, also täglich in 63,6 Semmel, ohne das Fleischextrakt, 15,41 feste Teile, 6,08 g Eiweiſs, 0,63 g Fett und 38,07 g Kohlehydrat, dazu im eingeweichten Semmel 123,7 g Wasser.

Die Bestimmungen des Wassers und der festen Teile ergaben:

	Wasser in %		Feste Teile in %	
In der Leber .	74,06	73,86	25,94	26,14
» » » . .	73,66		26,34	
In den Muskeln	75,75	75,80	24,25	24,20
» » »	75,85		24,15	
Im Blut . . .	79,31	80,71	20,69	19,29.
» » . . .	82,10		17,90	

Katze No. 3.

Wie bei Katze Nr. 2 bei Aufnahme von Semmel mit 5 g Fleischextrakt und etwas Kochsalz in heiſsem Wasser eingeweicht vom 2. Januar bis 6. Februar 1891 während 34 Tagen. Das Tier fraſs von dem Futtergemisch sehr verschiedene Mengen, zwischen 35—93 g Semmel[1]) bis zum letzten Tage. Am 34. Tage wurde es durch Chloroformierung getötet.

1) In 100 g Semmel sind: 71,4 feste Teile, 9,6 Eiweiſs, 1,0 Fett, 60,1 Kohlehydrate.

Das Körpergewicht betrug am 6. Tage 2079,5 g[1]), am 34. Tage 1712,5 g; es hatte also in 28 Tagen um 367,0 g = 17,7 % = 13,1 g im Tag im Mittel abgenommen und zwar wie die Katze Nr. 2 bei dem gleichen Futter stetig von Anfang an. Das aufgenommene Futter reichte demnach auch hier nicht hin, um den stofflichen Bestand des Tieres zu erhalten; jedoch nahm das leichtere Tier Nr. 3 nicht so viel ab wie das schwerere Nr. 2 und wäre noch längere Zeit am Leben geblieben.

Während der 34 Tage hat die Katze gefressen: 2130,8 g Semmel mit 1521,39 g festen Teilen, 204,56 g Eiweifs, 21,31 g Fett und 1280,61 g Kohlehydrat und 112,1 g Fleischextrakt; also täglich in 62,66 g Semmel 44,74 g feste Teile, 6,02 g Eiweifs, 0,63 g Fett und 37,66 g Kohlehydrat; dazu im eingeweichten Semmel 148,0 g Wasser.

Die Bestimmungen des Wassers und der festen Teile ergaben:

	Wasser in %		Feste Teile in %	
In der Leber .	74,56	74,60	25,44	25,40
» » » . .	74,64		25,36	
In den Muskeln	75,85	76,07	24,15	23,93
» » »	76,29		23,71	
Im Blut . . .	85,18	85,21	14,82	14,79.
» » . . .	85,24		14,76	

Im Blut fanden sich 6,82 % Hämoglobin vor; im trockenen Blut 46,13 % Hämoglobin.

Das Resultat dieser Versuche an den drei Katzen ist ein schlagendes und unzweifelhaftes und völlig übereinstimmend mit den früheren Wasserbestimmungen von C. Voit an Katzen nach Brotfütterung und mit den Hämoglobinbestimmungen von Subbotin am Hunde nach Fütterung mit Fleisch und Brot. Die längere Zeit mit Semmel ernährten Tiere zeigten einen höheren Gehalt an Wasser in der Leber, den Muskeln und dem Blute

1) Körpergewicht am

9. Tag	2078,0 g	23. Tag	1785,0 g
13. »	1985,5 »	27. »	1754,5 »
16. »	1897,5 »	31. »	1752,5 »
20. »	1864,5 »		

und in letzterem zugleich eine geringere Menge von Hämoglobin, wie die folgende Übersicht darthut:

Übersicht der drei Versuche an der Katze.

No.		In der Nahrung				Körpergewicht im Tag	% feste Teile			% Hämoglobin im Blut	
		feste Teile	Eiweifs	Fett	Kohlehydrate		Leber	Muskel	Blut	frisch	trocken
1	200 Flsch. + 10 Sp.	58	40	11	0	+ 4	32,7	25,6	19,9	10,97	54,96
2	64 Semm.	45	6	1	38	— 45	26,1	24,2	19,3	—	—
3	63 »	45	6	1	38	— 13	25,4	23,9	14,8	6,82	46,13

Weiterhin habe ich noch Versuche über den Einflufs der Art der Nahrung auf den Wassergehalt der Organe und den Hämoglobingehalt des Blutes an Kaninchen gemacht, obwohl diese Tiere für solche Versuche wenig günstig sind, da sie dieselben nicht so gut auf die Dauer vertragen wie die Fleischfresser und ihr Körperzustand je nach der vorausgehenden Fütterung ein sehr wechselnder ist; sie sollten aber ausgeführt werden zur Prüfung der von Subbotin an Kaninchen erhaltenen Ergebnisse der Hämoglobinbestimmungen mit gleichzeitiger Untersuchung des Wassergehaltes der Organe und des Blutes.

II. Versuche an Kaninchen.

Die Kaninchen erhielten A. Milch und Semmel unter Zusatz von etwas Heu; B. Kartoffeln und C. Heu.

A. Zwei Kaninchen bei Fütterung mit Milch, Semmel und Heu.

Kaninchen No. 1.

Während 35 Tagen (9. Februar bis 16. März 1891). Es wurden täglich 250 ccm Milch vorgesetzt mit 40—80 g Semmel und 50 g Heu; die Milch wurde stets (mit Ausnahme des 12. März) ganz verzehrt; von der Semmel blieb an vier Tagen ein Rückstand von 363,0 g; das Heu wurde an 23 Tagen völlig aufgezehrt.

Das Körpergewicht des Tieres betrug:

1. Tag	9. Februar	3539,5 g	26. Tag	6. März	3466,5 g
10. »	18. »	3387,5 »	35. »	16. »	3358,5 »
18. »	26. »	3524,5 »			

also in 35 Tagen eine Abnahme des Körpergewichtes um 181,0 g = 5,0 g täglich = 5,2 %.

Während der 35 Tage hat das Kaninchen gefressen[1]):

		Feste Teile	Eiweifs	Fett	Kohle-hydrate	Cellu-lose
1277 g Semmel	=	911,8	122,59	12,77	767,47	—
8500 » Milch	=	1070,1	289,85	311,10	409,70	—
1105 » Heu	=	947,0	107,18	27,62	457,47	290,61
		2928,9	519,62	351,49	1634,64	290,61
im Tag { 36,5 g Semmel, 243,0 » Milch u. 31,6 » Heu }		83,7	14,85	10,04	46,70	8,30.

In der Nahrung wurden täglich 2,38 g Stickstoff = 14,87 g Eiweifs aufgenommen.

Da es zum Verständnis der Resultate von Wichtigkeit erschien, nicht nur die aufgenommene Nahrung zu kennen, sondern auch das, was davon im Darm resorbiert worden ist, hier aber der Kot nicht gesammelt wurde, so setzen wir die Werte für den Kot ein, welche in der folgenden Reihe, bei der ein annähernd gleich schweres Tier (No. 2) nahezu die gleiche Nahrung aufgenommen hatte, erhalten worden sind. Es wurden darnach täglich in der Nahrung aufgenommen und im Kot abgegeben:

	Feste Teile	Stickst.	Kohlehydr.	Cellulose
In der Nahrung .	83,70	2,38	46,70	8,30
Im Kot	17,72	0,81	(5,80)	5,00
Im Tag resorbiert	65,98	1,57 (= 9,81 Eiweifs)	40,90	3,30
Nicht ausgenützt in %	21	34	12	60.

Die Bestimmungen des Gehaltes an Wasser und festen Teilen im Carotidenblut und in einer Probe der Schenkel- und Rückenmuskeln des am 16. März getöteten Tieres ergaben:

---

1) Es sind in %:

	Feste Teile	Eiweifs	Fett	Kohlehydr.	Cellul.
in Semmel (nach Voit)	71,4	9,6	1,0	60,1	—
in der Milch (n. König)	12,59	3,41	3,66	4,82	—
im Heu (n. Wolff) . .	85,70	9,7	2,5	41,4	26,3

	Wasser		Feste Teile	
im Muskel	74,219 74,855	74,537	25,781 25,145	25,463
im Blut	79,916 80,080 79,930	79,975	20,084 19,920 20,070	20,025

Im trockenen Muskel sind 4,454 % Fett. Im Blute sind 11,58 % Hämoglobin; in 100 trockenem Blute sind 57,89 % Hämoglobin.

Kaninchen No. 2.

Es wurde bei diesem Kaninchen, No. 2, welches ebenfalls mit Milch und Semmel unter Zusatz von Heu während 54 Tagen (vom 3. März bis 27. April 1892) gefüttert worden war, aus dem angegebenen Grunde auch der Kot gesammelt.

Das Körpergewicht des Tieres betrug:

1. Tag	3. März	3284,5 g	
6. »	9. »	2915,5 »	(am 8. März 12 Junge geworfen)
32. »	4. April	3096,5 »	
54. »	27. »	2986,5 »	

also in 54 Tagen eine Abnahme des Körpergewichts um 298 g = 5,5 g täglich = 9,1 %.

Während der 54 Tage hat das Kaninchen gefressen:

	Feste Teile	Eiweifs	Fett	Kohlehydr.	Cellul.
2 734,2 g Semmel =	1952,2	262,48	27,34	1643,25	—
12 935,5 » Milch =	1628,6	441,10	473,44	623,49	—
1 717,5 » Heu =	1471,9	166,60	42,94	711,04	451,70
	5052,7	870,18	543,72	2977,78	451,70
im Tag { 50,6 g Semmel, 239,8 » Milch u. 31,8 » Heu }	93,60	16,11	9,99	55,18	8,37.

Der Kot wurde hier während sechs Tagen gesammelt, und im ganzen 118,8 g lufttrocken erhalten [1]. Auf den Tag treffen:

19,80 g lufttrocken,
17,72 » trocken,
5,00 » Cellulose,
1,86 » Asche,
0,81 » Stickstoff.

1) Es waren im lufttrockenen Kot in %:

Feste Teile		Cellulose		Asche	
89,689 89,295	89,492	26,402 24,148	25,275	9,504 9,336	9,420

In 16,11 Eiweifs der täglichen Nahrung sind 2,57 Stickstoff; in 17,72 trockenem Kot (bei 4,59 %) nach der Analyse von Ernst Lesser 0,81 Stickstoff.

	Feste Teile	Stickstoff	Kohlehydr.	Cellul.
In der Nahrung . .	93,60	2,57	55,18	8,37
Im Kot	17,72	0,81	(5,80)	5,00
Im Tag resorbiert .	75,88	1,76	49,38	3,37
		(= 11,00 Eiweifs)		
Nicht ausgenützt in %	26	31	12	60.

B. Fünf Kaninchen bei Fütterung mit Kartoffeln.

Kaninchen No. 1.

Bei Aufnahme von Kartoffeln nach Belieben während 35 Tagen (9. Februar bis 16. März 1891).

Das Körpergewicht des Tieres betrug:

1. Tag	9. Februar	3288,5 g
10. »	18. »	3019,5 »
18. »	26. »	2929,5 »
26. »	6. März	2786,5 »
35. »	16. »	2974,5 »

also in 35 Tagen eine Abnahme des Körpergewichts um 314,0 g = 9,0 g täglich = 9,5 %.

Während der 35 Tage wurden den Kaninchen

vorgesetzt	10 139,0 g	Kartoffeln
nicht gefressen	2 676,0 »	»
gefressen	7 463,0 g	Kartoffeln,

d. i. im Tag 213,2 g.

	Feste Teile	Eiweifs	Fett	Kohle-hydrate	Cellul.
in 7463,0 g Kartoff.[1]) sind	1915,75	179,11	2,24	1502,30	20,89
» 213,2 » » » tägl.	54,70	5,11	0,06	42,95	0,61.

In der Nahrung wurden täglich 0,818 g Stickstoff = 5,11 g Eiweifs aufgenommen. Die Menge des Kotes wurde bei dieser Reihe nicht bestimmt: wir setzen dafür, um über das aus dem Darm Resorbierte einen Aufschlufs zu bekommen, die Werte ein,

---

1) In 100 g Kartoffeln sind (nach Constantinidi):

Feste Teile	Eiweifs	Fett	Kohlehydr.	Cellulose
25,67	2,40	0,03	20,13	0,28.

welche für den Kot bei dem Kartoffel-Kaninchen No. 5 bei der gleichen Menge der gefressenen Kartoffeln erhalten worden sind. Es wurden darnach täglich in der Nahrung eingeführt und im Kot abgegeben:

	trocken	Stickstoff	Fett	Kohlehydr.	Cellul.
in der Nahrung . .	54,70	0,818	0,057	42,95	0,610
im Kot	4,38	0,183	—	(2,46)	0,099
im Tag resorbiert .	50,32	0,635 (= 3,97 Eiweifs)	—	40,49	0,511
nicht ausgenützt in %	9,19	22,4	—	5,73	16,2.

Die Bestimmungen des Gehaltes an Wasser und festen Teilen des Blutes und der Muskeln des am 16. März getöteten Tieres ergaben:

	Wasser		Feste Teile	
im Muskel	78,315 76 756	77,536	21,685 23,244	22,464
im Blut	85,590 85,530 85,570	85,563	14,410 14,470 14,430	14,437.

Im trockenen Muskel sind 3,085 % Fett. Im Blute (1027,4 spez. Gew.) sind 7,94 % Hämoglobin; in 100 trockenem Blut sind 54,97 % Hämoglobin.

Kaninchen No. 2.

Bei Aufnahme von Kartoffeln nach Belieben unter Zusatz von Ferrum reductum während 61 Tagen (9. Mai bis 9. Juli 1891).

Das Körpergewicht des Tieres betrug:

1. Tag	9. Mai	2094,5 g
12. »	20. »	1989,5 »
23. »	31. »	1829,5 »
47. »	24. Juni	1509,5 »
61. »	9. Juli	1359,5 »

also in 61 Tagen eine Abnahme des Körpergewichtes um 735 g = 12 g täglich = 35,1 %.

Während der 61 Tage wurde den Kaninchen

vorgesetzt	14 971,6 g Kartoffeln
nicht gefressen	6 740,0 » »
gefressen	8 231,6 g Kartoffeln,

d. i. im Tag 134,9 g.

	Feste Teile	Eiweifs	Fett	Kohle-hydrate	Cellul.
In 8231,6 g Kartoff. sind	2108,05	197,56	2,47	1657,02	23,05
» 134,9 » » täglich	34,64	3,24	0,04	27,16	0,38

In der Nahrung wurden täglich 0,52 g Stickstoff = 3,25 g Eiweifs aufgenommen.

Um die Ausnützung im Darm zu erfahren, wurde, da hier weniger Kartoffeln als vom Kartoffelkaninchen No. 5 verzehrt wurden, die prozentige Ausnützung des Kartoffelkaninchens No. 5 eingesetzt. Es wurden darnach täglich in den Kartoffeln verzehrt und im Kot abgegeben:

	feste Teile	Stickstoff	Fett	Kohlehydrate	Cellul.
in der Nahrung . .	34,64	0,520	0,04	27,16	0,380
im Kot	2,79	0,117	—	1,57	0,064
im Tag resorbiert .	31,85	0,403 (= 2,52 Eiweifs)		25,59	0,316
nicht ausgenützt in %	8,06	22,5	—	5,77	16,8.

Die Bestimmungen des Gehaltes an Wasser und festen Teilen des Blutes und der Muskeln des am 9. Juli getöteten Tieres ergaben:

	Wasser		Feste Teile	
im Muskel	82,786 81,747	82,267	17,214 18,253	17,733
im Blut	89,718 89,783	89,751	10,282 10,217	10,249.

Im trockenen Muskel sind 3,181 % Fett. Im Blute sind 7,51 % Hämoglobin; in 100 trockenem Blut sind 73,27 % Hämoglobin.

Kaninchen No. 3.

Bei Aufnahme von Kartoffeln nach Belieben, mit Zusatz von 15 ccm Blut täglich, während 48 Tagen (22. Mai bis 9. Juli 1891).

Das Körpergewicht des Tieres betrug:

1. Tag	22. Mai	3455,5 g
10. »	31. »	2986,5 »
34. »	24. Juni	2875,4 »
48. »	9. Juli	2885,5 »

also in 48 Tagen eine Abnahme des Körpergewichtes um 570,0 g = 11,9 g täglich = 16,5 %.

Während der 48 Tage wurden dem Kaninchen

vorgesetzt	13164,5	g Kartoffeln
nicht gefressen	582,5	» »
gefressen	12582,0	g Kartoffeln
dazu	720,0	ccm Blut,

d. i. im Tag 262,1 g Kartoffeln	67,28	feste Teile
und 15,0 ccm Blut	2,80	» »
	70,08	feste Teile.

	Feste Teile	Eiweiſs	Fett	Kohlehydrate	Cellul.
12582,0 Kartoffeln .	322,94	301,97	3,40	2532,7	35,86
720,0 Blut . . .	13,44	124,56	—	—	—
	336,38	426,53	3,40	2532,7	35,86
im Tag	70,08	8,89	0,07	52,77	0,75.

In der Nahrung wurden täglich 1,42 g Stickstoff = 8,87 g Eiweiſs aufgenommen.

Die Bestimmung des Gehaltes an Wasser und festen Teilen des Blutes und der Muskeln des am 9. Juli getöteten Tieres ergaben:

	Wasser		Feste Teile	
im Muskel	78,669 78,106	78,388	21,331 21,894	21,612
im Blut	88,509 88,519	88,514	11,491 11,481	11,486.

Im trockenen Muskel sind 3,623 % Fett. Im Blute sind 7,27 % Hämoglobin; in 100 trockenem Blut sind 63,33 % Hämoglobin.

Kaninchen No. 4.

Bei Aufnahme von Kartoffeln nach Belieben, mit Zusatz von 30 ccm Blutserum täglich vom dritten Tage an, während 48 Tagen (22. Mai bis 9. Juli 1891).

Das Körpergewicht des Tieres betrug:

1. Tag	22. Mai	2560,0 g
10. »	31. »	2622,5 »
34. »	24. Juni	2576,5 »
48. »	9. Juli	2366,5 »

also in 48 Tagen eine Abnahme des Körpergewichts um 193,5 g = 4,0 täglich = 7,56 %.

Während der 48 Tage wurden dem Kaninchen

vorgesetzt	12 058,5 g	Kartoffeln
nicht gefressen	3 662,5 »	»
gefressen	8 396,0 g	Kartoffeln
dazu	1 380,0 ccm	Blutserum,

d. i. im Tag 174,9 Kartoffeln = 44,90 trocken
und 28,7 ccm Blutserum = 2,49 »
47,39 trocken.

	Feste Teile	Eiweifs	Fett	Kohlehydr.	Cellulose
in 8396,0 g Kartoffeln .	2155,2	201,42	2,267	1689,947	23,92
in 1380,0 ccm Blutserum	119,5	100,74	—	—	—
	2274,7	302,16	2,267	1689,947	23,92
im Tag	47,39	6,29	0,05	35,21	0,49.

In der Nahrung wurden täglich 1,01 g Stickstoff = 6,31 g Eiweifs aufgenommen.

Die Bestimmungen des Gehaltes an Wasser und festen Teilen des Blutes und der Muskeln des am 9. Juli getöteten Kaninchen ergaben:

	Wasser		Feste Teile	
im Muskel	76,903	76,820	23,097	23,170
	76,756		23,244	
im Blut	85,969	85,422	14,031	14,578
	84,875		15,125	

Im trockenen Muskel sind 2,095 % Fett. Im Blute sind 9,46 % Hämoglobin; in 100 trockenem Blut sind 64,88 % Hämoglobin.

Kaninchen No. 5.

Bei Aufnahme von geschälten gekochten Kartoffeln nach Belieben während 38 Tagen (27. März bis 4. Mai 1892). Es sollte in dieser Reihe die Menge des nach Aufnahme von Kartoffeln entleerten Kotes bestimmt werden.

Das Körpergewicht des Tieres betrug:

1. Tag	27. März	2638,5 g
30. »	25. April	2261,5 g
33. »	28. »	2246,5 g
39. »	4. Mai	2084,5 g

also in 38 Tagen eine Abnahme des Körpergewichtes um 554,0 g = 14,6 g täglich = 21 %.

Während der 38 Tage wurden dem Kaninchen

vorgesetzt	9462,9 g	Kartoffeln
nicht gefressen . . .	1414,6 »	»
gefressen	8048,3 g	Kartoffeln,

d. i. im Tag 211,8 g Kartoffeln = 54,37 g trocken.

	Feste Teile	Eiweifs	Fett	Kohlehydrate	Cellul.
In 8048,3 Kartoffeln	2066,06	193,16	2,41	162,01	22,53
» 211,8 »	54,37	5,08	0,06	42,63	0,59

In der Nahrung wurden täglich 0,813 g Stickstoff = 5,08 g Eiweifs aufgenommen.

In den letzten 6 Tagen (28. April bis 4. Mai) wurde 31,0 g lufttrockener Kot aufgesammelt[1]). Auf den Tag treffen:

5,16 lufttrocken
4,38 trocken
0,099 Cellulose
0,681 Asche
0,183 Stickstoff
(2,46 Kohlehydrate).

	Feste Teile	Stickstoff	Kohlehydr.	Cellulose
in der Nahrung . .	54,37	0,813	42,63	0,590
im Kot	4,38	0,183	(2,46)	0,099
im Tag resorbiert in g	49,99	0,63 (= 3,94 Eiweifs)	40,17	0,491
nicht ausgenützt in %	8,06	22,5	5,77	16,8

(Siehe Tabelle auf S. 399.)

Überblickt man die Resultate der vier Reihen bei Kartoffelfütterung, so sieht man, dafs die Hämoglobinmenge des Blutes von 7,27 bis 9,46% schwankt; die gröfste Menge von 9,46% findet sich bei Zusatz von 30 ccm Blutserum (mit 2 g Eiweifs) zu den Kartoffeln; der Zusatz von 15 ccm Blut (mit 3 g Eiweifs) hat keinen vermehrenden Einflufs ausgeübt. Die Menge des in den Kartoffeln verzehrten Eiweifses wirkt nicht bestimmend auf den Hämoglobingehalt ein; auch nicht auf den Wassergehalt von Blut und Muskeln. Die Tiere nahmen bei der Fütterung mit Kartoffeln allmählich an Körpergewicht ab und zwar 4—12 g täglich; am wenigsten, nur 4 g, bei Zusatz von 30 ccm Blutserum; sie büfsten also an Eiweifs oder Fett von ihrem Körper ein.

---

1) Es waren darin in %:

Trocken		Cellulose		Asche	
84,626	84,706	1,924	1,908	13,196	13,175
84,786		1,892		13,154	

4,19% Stickstoff nach Ernst Lesser im trockenen Kot.

Der Vergleich der vier Kartoffelreihen mit der ersten Reihe bei Fütterung mit Semmel, Milch und Heu, bei welcher wesentlich mehr Eiweifs und auch Fett zugeführt wurde, zeigt einen grofsen und charakteristischen Unterschied im Hämoglobingehalt des Blutes und im Wassergehalt der Muskeln und des Blutes. In Übereinstimmung mit den Beobachtungen an der Katze, dem Hund und dem Kaninchen enthält das Blut bei Aufnahme von Kartoffeln um 2,12 bis 4,31 % weniger Hämoglobin und das Blut um 5,44 bis 9,77 % mehr Wasser, die Muskeln um 2,29 bis 7,73 % mehr Wasser.

Es stellt sich also auch beim Kaninchen heraus, dafs die Art der Nahrung einen mächtigen Einflufs auf die Hämoglobinmenge des Blutes ausübt und zugleich auch den Wassergehalt des Blutes und

Übersicht der fünf Versuche am Kaninchen mit Semmel, Milch und Heu und mit Kartoffeln.

No.	In der Nahrung		Feste Teile	Eiweifs	Fett	Kohlehydrate	Körpergewicht im Tag	% feste Teile		% Hämoglobin im Blut	
								Muskel	Blut	frisch	trocken
1.	Semmel, Milch und Heu	verzehrt	84	15	10	47	— 5	25,46	20,02	11,58	57,89
		resorbiert	66	10	—	41					
1.	Kartoffeln	verzehrt	55	5	0	43	— 9	22,46	14,44	7,94	54,97
		resorbiert	50	4	—	40					
2.	Kartoffeln mit Eisen	verzehrt	35	3	0	27	— 12	17,73	10,25	7,51	73,27
		resorbiert	32	3	—	26					
3.	Kartoffeln mit Blut	verzehrt	70	9 (3 im Blut)	0	53	— 12	21,61	11,49	7,27	63,33
4.	Kartoffeln mit Serum	verzehrt	47	6 (2 i. Serum)	0	35	— 4	23,17	14,58	9,46	64,88

der Organe ändert. Eine unrichtige Ernährung macht den Wassergehalt des Körpers und seiner Organe gröſser, auch den des Blutes und setzt dadurch die Hämoglobinmenge sowie die Menge der festen Bestandteile herab.

C. Drei Kaninchen bei Fütterung mit Heu.

Kaninchen No. 1.

Bei Aufnahme von Heu nach Belieben während 35 Tagen (3. Februar bis 16. März 1891).

Das Körpergewicht des Tieres betrug:

1. Tag	9. Februar	2836,5 g
10. »	18. »	2571,5 »
18. »	26. »	2328,5 »
26. »	6. März	2295,5 »
35. »	16. »	2040,0 »

also in 35 Tagen eine Abnahme des Körpergewichts um 796,0 g = 22,74 g täglich = 28,1 %.

Während der 35 Tage wurden von dem Kaninchen verzehrt: 4710,0 g Heu, d. i. im Tag 134,6 g.

	Feste Teile	Eiweiſs	Fett	Kohlehydr.	Cellulose
In 4710,0 Heu	4035,5	456,87	117,75	1954,94	1238,73
In 134,6 »	115,3	13,05	3,36	55,85	35,34.

In der Nahrung wurden täglich 2,09 g Stickstoff = 13,06 g Eiweiſs aufgenommen.

Um die Menge der im Darm resorbierten Stoffe zu beurteilen, wurde die prozentige Ausnützung des Heukaninchens No. 3, welches im Tag 97,35 g Trockensubstanz verzehrte, eingesetzt. Es wurden danach täglich im Heu verzehrt und im Kot abgegeben:

	Feste Teile	Stickstoff	Fett	Stärkemehl	Cellulose
In der Nahrung . . .	115,3	2,09	3,36	55,85	35,34
Im Kot	74,36	1,20	—	32,00	27.51
Im Tag resorbiert . .	40,94	0,89 (= 5,47 Eiweiſs)	—	23,85	7,83
Nicht ausgenützt in %	64,5	57,4	—	57,3	75,0.

Die Bestimmungen des Gehaltes an Wasser und festen Teilen des Blutes und der Muskeln des am 16. März getöteten Kaninchens ergaben:

	Wasser		feste Teile	
im Muskel	80,558	80,130	19,442	19,870
	79,701		20,299	
im Blut	83,007	82,868	16,993	17,131.
	82.969		17,031	
	82,630		17,370	

Im trockenen Muskel sind 3,362 % Fett. Im Blute sind 11,27 % Hämoglobin; in 100 trockenem Blut sind 66,24 % Hämoglobin.

Kaninchen No. 2.

Bei Aufnahme von Heu nach Belieben während 16 Tagen (1. bis 17. Juli 1892).

Das Körpergewicht des Tieres betrug:

3. Tag	3. Juli	3154,5 g
17. »	17. »	2769,0 »

also in 16 Tagen eine Abnahme des Körpergewichtes um 385,5 g = 24,1 g im Tag = 12,2 %.

Während der 16 Tage wurden von dem Kaninchen verzehrt: 1638,0 g Heu, d. i. im Tag im Mittel 102,4 g.

	Feste Teile	Eiweifs	Fett	Kohlehydrate	Cellul.
in 1638,0 Heu	1404,16	158,88	37,60	681,60	565,44
in 102,4 »	87,76	9,93	2,35	42,60	26,93.

In der Nahrung wurden täglich 1,58 g Stickstoff = 9,88 g Eiweifs aufgenommen.

Um über die Menge des im Darm Resorbierten Aufschlufs zu erhalten, wurden hier die prozentigen Werte eingesetzt, welche für den Kot bei dem Heukaninchen No. 3, das etwas mehr Heu (113,6 g) aufnahm, gefunden worden sind. Es wurden danach täglich in dem Heu eingeführt und im Kot abgegeben:

	Feste Teile	Stickstoff	Fett	Stärkemehl	Cellul.
in der Nahrung . . .	87,76	1,58	2,35	42,60	26,93
im Kot	56,60	0,91	—	24,41	20,20
im Tag resorbiert . .	31,16	0,67	—	18,19	6,73
		(= 4,19 Eiweifs)			
nicht ausgenützt in %	64,5	57,4	—	57,3	75,0.

Die Bestimmungen des Gehaltes an Wasser und festen Teilen des Blutes und der Muskeln des am 17. Juli getöteten Tieres ergaben:

	Wasser		Feste Teile	
im Muskel	77,249 76,967	77,108	22,751 23,033	22,892
im Blut	81,582 81,566	81,574	18,418 18,434	18,426.

Im Blute sind 12,194 % Hämoglobin; in 100 trockenem Blut sind 66,17 % Hämoglobin.

Kaninchen No. 3.

Bei Aufnahme von Heu nach Belieben während 30 Tagen (24. Februar bis 26. März 1892).

Das Körpergewicht des Tieres betrug:

1. Tag	24. Februar	2892,0 g
8. »	3. März	2484,5 »
13. »	8. »	2203,0 »
17. »	12. »	2052,5 »
23. »	18. »	1843,5 »
30. »	26. »	1471,5 »

Am 7. März zwei Junge von 164,5 g Gewicht geworfen. In 30 Tagen, mit Berücksichtigung des Gewichtes der zwei Jungen, eine Abnahme des Körpergewichtes um 1256 g = 41,86 g im Tag = 43,4 %.

Während der 30 Tage wurden von dem Kaninchen verzehrt: 3407,0 g Heu, d. i. im Tag 113,6 g

	Feste Teile	Eiweifs	Fett	Stärkemehl	Cellul.
in 3407,0 Heu	2920,5	330,60	85,2	1410,90	896,40
» 113,6 »	97,35	11,02	2,84	47,03	29,88

In die Nahrung wurden täglich 1,76 g Stickstoff = 11,02 g Eiweifs aufgenommen.

Bei dieser Reihe wurde auch an 6 Tagen (12. bis 18. März) der Kot aufgesammelt, um über die Ausnützung des Heues im Darmkanal einen Aufschlufs zu bekommen. Die Menge desselben betrug 504,6 g[1]) lufttrocken = 376,256 g Trockensubstanz.

Es sind demnach

	Feste Teile	Asche	Cellulose
in 504,5 lufttrockenem Kot . .	376,256	25,265	134,500
» 84,1 » » . .	62,709	4,211	22,410.

1) Im lufttrockenen Kot sind in %:

Feste Teile		Wasser		Asche		Cellulose	
74,790 74,370	74 580	25,210 25,630	25,420	5,135 4,880	5,008	28,215 25,112	26,660.

Im trockenen Heukot sind nach der Analyse des Herrn Ernst Lesser 1,61 % Stickstoff; in 62,709 trockenem Kot also 1,0096 g Stickstoff.

Es wurden also im Tag im Heu aufgenommen und im Kot abgegeben:

	Feste Teile	Stickstoff	Fett	Kohlehydr.	Cellul.	Asche
in 113,6 Heu . . .	97,35	1,76	2,84	47,03	29,88	5,21
» 84,1 Kot	62,71	1,01	—	(26,94)	22,41	4,213
im Tag resorbiert . .	34,64	0,75 (= 4,69 Eiweifs)	—	20,09	7,47	0,997
nicht ausgenützt in %	64,5	57,4	—	57,3	75,0	80,8

Die Bestimmungen des Gehaltes an Wasser und festen Teilen des Blutes des am 26. März getöteten Tieres waren:

	Wasser		Feste Teile	
im Blut	81,742	81,828	18,258	18,172.
	81,915		18,085	

Im Blute sind 9,33 % Hämoglobin; in 100 trockenem Blute sind 51,56 % Hämoglobin.

Um zu zeigen, wie ungünstig sich das Heu im Verdauungskanal des Kaninchens verhält, führe ich noch vier Heureihen an, von denen die drei ersten bei den Untersuchungen von Dr. Rich. May über den Stoffwechsel im Fieber angestellt wurden (Zeitschr. f. Biol. 1894, Bd. 30 S. 1), die vierte von Herrn Ernst Lesser ausgeführt wurde.

1. Anfangsgewicht 3039, Beobachtung 8 Tage (11.—19. Mai 1893), Abnahme im Tag 42 g.

	Feste Teile	Eiweifs	Kohlehydr.	Cellulose
Im Heu (104,9) .	89,91	10,17	43,64	27,59
im Kot	43,82	4,41	—	—
im Tag resorbiert	46,09	5,76	—	—
nicht ausgenützt in %	49	44	—	—

N in der Nahrung . 1,627

N im Harn 2,054
N im Kot 0,705

N vom Körper ab . 1,132 = 7,08 Eiweifs.

2. Anfangsgewicht 2761, Beobachtung 9 Tage (11—20. Mai 1893), Abnahme im Tag 71 g.

	Feste Teile	Eiweifs	Kohlehydr.	Cellulose
Im Heu (56,4) . .	48,33	5,47	23,35	14,83
Im Kot	20,96	2,11	—	—
Im Tag resorbiert .	27,37	3,36	—	—
nicht ausgenützt in %	43	38	—	—

N in der Nahrung . 0,875

N im Harn 2,800
N im Kot 0,337

N vom Körper ab . 2,262 = 14,14 Eiweifs.

3. Anfangsgewicht 2857, Beobachtung 5 Tage (27. Mai bis 1. Juni 1893), Abnahme im Tag 35,8 g.

	Feste Teile	Eiweifs	Kohlehydr.	Cellulose
Im Heu (64,4) . .	55,19	6,44	26,66	16,94
Im Kot	34,86	3,51	—	—
Im Tag resorbiert .	20,33	2,93	—	—
nicht ausgenützt in %	63	59	—	—

N in der Nahrung . 1,03
N im Harn . . . 1,428
N im Kot 0,561
N vom Körper ab . 0,959 = 5,99 Eiweifs.

4. Anfangsgewicht 2660, Beobachtung 10 Tage, Abnahme im Tag 38,6 g.

	Feste Teile	Eiweifs	Kohlehydr.	Cellulose
Im Heu (80,75) . .	69,20	7,83 (1,253 N)	33,43	21,24
Im Kot	49,40	4,97 (0,795 N)	—	—
Im Tag resorbiert .	19,80	2,86 (0,458 N)	—	—
nicht ausgenützt in %	71	63	—	—

Die drei Fütterungsversuche mit Heu am Kaninchen No. 1, 2, 3 ergaben folgendes:

No.	Im Heu	Feste Teile	Eiweifs	Kohlehydr	Cellulose	Zahl der Tage	Körpergewicht 1. Tag	Körpergewicht Abnahme im Tag	% feste Teile Musk.	% feste Teile Blut	% Hämoglob. im Blut frisch	% Hämoglob. im Blut trock.
1.	verzehrt	115,3	13,05	55,85	35.34	35	2836	— 23	19,87	17,13	11,27	66,24
	resorbiert	40,94	5,47	23,85	7,83							
2.	verzehrt	87,76	9,93	42,60	26,93	16	3154	— 24	22,89	18,43	12,19	66,17
	resorbiert	31,16	4,19	18,19	6,73							
3.	verzehrt	97,35	11,02	47,03	29,88	30	2892	— 41	—	18,17	9,33	51.56
	resorbiert	34,64	4,71	20,09	7,47							

Es ist daraus ersichtlich, dafs bei der Heufütterung die Tiere viel mehr an Gewicht verloren wie bei der Fütterung mit Semmel, Milch und Heu und mit Kartoffeln. Mit dem Heu wurden fast so viel Eiweifs und Kohlehydrate und mehr feste Teile eingeführt wie bei dem gut genährten Kaninchen in Semmel, Milch und Heu, und es waren im Heu erheblich mehr Eiweifs und Kohlehydrate enthalten wie in den von dem Kaninchen verzehrten Kartoffeln. Und doch büfsten die Heukaninchen viel mehr am

Körpergewicht ein als die mit Semmel, Milch und Heu und mit Kartoffeln ernährten. Dies rührt davon her, dafs das Heu viel schlechter im Darm ausgenützt wird als die anderen Nahrungsmittel; es wurden in die Säfte aufgenommen bei:

	Feste Teile	Eiweifs	Fett	Stärkem.	Cellul.
Semmel, Milch und Heu	66	10	9	41	8
Kartoffeln	50	4	0	41	—
»	32	3	0	26	—
Heu	41	5	0	24	8
»	31	4	0	18	7
»	35	5	0	20	7.

Die Heukaninchen waren also nahezu Hungerkaninchen: sie verloren, wie die angegebenen drei Versuche von Rich. May zeigen, täglich Eiweifs von ihrem Körper: No. 1 7,1, No. 2 14,1 und No. 3 6,0 g. Daher kommt es, dafs die Heukaninchen im Blut fast soviel feste Teile und Hämoglobin enthalten wie das best genährte Kaninchen, welches Semmel, Milch und Heu bekam; denn bei Hunger findet sich im Blute derselbe Gehalt an festen Teilen und an Hämoglobin wie bei dem bestgenährten Tiere.[1]) Anders ist es bei Aufnahme von Kartoffeln, welche als unrichtiges

1) Dies geht aus allen Beobachtungen hervor. Für die festen Teile fand C. Voit bei der hungernden Katze (Zeitschr. f. Biol. 1866, Bd. 2 S. 356) und beim hungernden Hund (Zeitschr. f. Biol. 1894, Bd. 30 S 521) etwas mehr im Blut wie bei dem wohlgenährten Tier. Für das Hämoglobin that es Subbotin am Kaninchen und Hund dar. Nach Buntzen nimmt, wie schon erwähnt, bei Hunden infolge des Hungerns die relative Menge der Blutkörperchen zu, da dieselben dabei langsamer zu Grunde gehen als das Plasma. Nach Senator (Charité-Ann. 1887, No. 12 S. 327) tritt beim Menschen im Hungerzustande ein leichtes Ansteigen der Zahl der Blutkörperchen ein. L. Hermann und S. Groll (Pflügers Arch. 1888, Bd. 43 S. 239) geben an, dafs bei Hunden und Katzen beim Hunger der Gehalt des Blutes an Hämoglobin zunimmt, da dasselbe dabei weniger rasch zerstört wird als die anderen festen Teile. Nach den Untersuchungen von Senator und Müller an den Hungerern Cetti und Breithaupt (Virchows Arch. 1893, Bd. 131 S. 101) nimmt beim Hunger die relative Zahl der roten Blutkörperchen zu, dagegen fand bei Cetti eine stetige Abnahme des Hämoglobins, bei Breithaupt eine beträchtliche Zunahme statt. Ähnliches berichtete Luigi Luciani (das Hungern 1890, S. 94) von dem Hungerer Succi: die Zahl der roten Blutkörperchen zeigte gewisse geringe Schwankungen, abhängig von der wechselnden Verdickung oder Verdünnung des Blutes, jedoch eine Abnahme des Hämoglobins ohne entsprechende Verminderung der Zahl der Blutkörperchen.

Nahrungsmittel, ebenso wie das Brot, das Blut wäfsriger machen und dadurch einen geringeren Hämoglobingehalt desselben bedingen.

Aus meinen Versuchen ergibt sich also, dafs bei Katzen und auch bei Kaninchen der Hämoglobingehalt des Blutes durch die Art der Nahrung beeinflufst wird, wie es schon die früheren Versuche von Subbotin an Kaninchen und Hunden gezeigt haben. Es handelt sich nämlich um eine Herabsetzung des Hämoglobingehaltes durch die Wirkung einer unrichtigen Ernährungsweise mit Brot und Kartoffeln, wobei der Körper unter Abgabe von Eiweifs verhältnismäfsig viel Kohlehydrat zugeführt erhält. Diese Abnahme der prozentigen Hämoglobinmenge geht mit einem gröfseren Wassergehalt des Blutes und des ganzen Körpers infolge der unrichtigen Ernährung einher, wie die früheren Versuche von C. Voit an Hunden und Katzen und auch meine Versuche an Katzen und Kaninchen darthun. Die Zunahme des Wassergehaltes der Organe ist das Nächste und die Abnahme des Hämoglobins die notwendige Folge davon.

Zur Deutung der Entstehung der vom vierten Ventrikel aus erzeugbaren Hydrurien.

Von

O. Eckhard in Gieſsen.

Ich bringe diesen alten Gegenstand wieder einmal zur Sprache, weil ich glaube, denselben durch einige neue Beobachtungen und daran sich anschlieſsende Betrachtungen fördern zu können.

I. Erzeugung von Hydrurien vom vierten Ventrikel aus, deren Harne gar keinen oder nur sehr geringe Spuren von Zucker führen.

Bekanntlich hielt es Bernard[1]) für wahrscheinlich, daſs nach Piqûre im vierten Ventrikel das Auftreten von Zucker im Harn und die Vermehrung der Harnmenge von einander unabhängige Erscheinungen seien. Er stützte diese Ansicht durch die Angabe, daſs eine, ein wenig unterhalb des Acusticusursprunges ausgeführte Verletzung Vermehrung von zuckerlosem Harn hervorbringe. Die Angelegenheit hatte bisher das Miſsliche, daſs die Erzeugung zuckerarmer oder zuckerloser Hydrurien nach der Art, wie sie Bernard angegeben, äuſserst unsicher war. Bei einer Nachprüfung[2]) der Angabe Bernards konnte ich nur soviel sagen, daſs man ab und zu durch Verletzungen

1) Bernard, Leçons sur la physiologie et la pathologie du système nerveux. Paris 1858, I. p. 398.

2) Meine Beiträge Bd. 4 S. 160.

am Boden des vierten Ventrikels zuckerlose[1]) Hydrurie bekommen kann; ich gelangte aber trotz vieler Versuche nicht dazu, einen Ort anzugeben, von dem aus dies ausnahmslos oder doch in den allermeisten Fällen möglich ist. Jetzt vermag ich dies.

Zuvor einige Worte über die Aufsammlung des Harns und die Vorbereitungen zur Operation. Obschon ich hiermit zu einem grofsen Teil Bekanntes sage, thue ich dies, damit man in jede Einzelheit meiner Untersuchung hineinsehe. Sämtliche Versuche sind an Kaninchen angestellt. Bei diesen die Harnmengen mittels in die Ureteren eingelegter Kanülen während längerer Zeiten, — wie es die hier in Betracht kommenden Versuche verlangen, — zu bestimmen, ist unthunlich. Die Gründe dafür habe ich bereits vor vielen Jahren angegeben; unter diesen auch den, dafs bei aufgebundenen Kaninchen mit Kanülen in den Ureteren bisweilen nach Zeiten sparsamer Harnabsonderung ganz plötzlich, ohne weitere äufsere Veranlassung, eine in der Regel mit Diabetes verknüpfte Hydrurie hereinbricht[2]). Es ist dies augenscheinlich dieselbe Erscheinung, die in neuerer Zeit von Böhm und Hoffmann bei Katzen unter dem Namen des »Fesselungsdiabetes« beschrieben worden ist. Den Urhebern dieses Ausdrucks ist meine Beobachtung entgangen; dies thut nichts. Die Thatsache ist nunmehr von mehreren Seiten und auch für ein anderes Tier gültig beobachtet und steht deshalb um so sicherer fest. Da ich die Methode des Catheterisierens beim Kaninchen, selbst bei Weibchen, nicht so vollkommen habe ausbilden können, um von ihr zu jeder Zeit sicheren und bequemen Gebrauch machen zu können, so habe ich mich durchweg der alten Methode des Ausdrückens bedient. Wer sich hierin Übung erwirbt und Sorgfalt auch in Kleinigkeiten sich nicht verdriefsen läfst, wird dabei beim genannten Tier besser als bei jeder andern Methode fahren. Man mufs durch Übung lernen, mittels des Gefühls den Darm, insbesondere das Coecum, von der Blase zu unterscheiden, durch passendes Zusammendrücken der Bauchwände gegeneinander

1) Über den Ausdruck »zuckerlos« werde ich hernach noch sprechen.

2) Meine Beiträge Bd. 4 S. 159 ff.

die Blase abzugrenzen und zu fixieren, ihren Füllungszustand zu beurteilen und durch wiederholtes, nicht forziertes Drücken den Blaseninhalt bis auf den letzten Tropfen entleeren zu können. Weibchen sind vorzuziehen, weil sie den Harn weniger hartnäckig zurückhalten. Man beseitigt bei dieser Art der Aufsammlung auch den der Aufsammlung durch in die Ureteren gebundene Kanülen gemachten Einwand, dafs die letzteren auf die Urinsekretion schädigend einwirke. — Um eine brauchbare Vorstellung von der Gröfse der Absonderung vor der Operation zu bekommen, habe ich die Tiere vorher 24—28 Stunden hungern lassen oder nur mit kleinen Hafermengen gefüttert. Dies ist empfehlenswert, weil andernfalls die Absonderungen in gleichen Zeiten noch während eines halben Tags und länger sehr ungleich ausfallen und die Beurteilung der Folgen der Operation unsicher machen können, insbesondere wenn in kurzen, gleichen Zeiten abgesonderte Harnmengen miteinander zu vergleichen sind. Es kommt hinzu, dafs nach der genannten Zeit die Absonderungsmengen, wenn auch noch ungleich, so doch nicht mehr sehr grofs ausfallen, und der nachherige Erfolg der Piqûre deutlicher in die Augen fällt. Ich habe daher nach jener Zeit den Harn stündlich entleert und erst dann die Piqûre ausgeführt, wenn die Stundenmengen klein und nicht sehr different waren. Endlich ist es ratsam, die Verletzung nicht eher auszuführen, bis der Harn amphotere oder saure Reaktion zeigt. Der Grund für diesen Rat wird später klar werden. Die rohen Vorbereitungen zur Operation geschehen, wie bei Ausführung jeder Piqûre, vom vierten Ventrikel aus in der Art, wie ich sie früher beschrieben habe [1]). Jede Art der Ausführung der Piqûre ohne diese Vorbereitungen ist ein gewagtes und häufig genug erfolgloses Verfahren. Für die jetzigen Untersuchungen reichen diese indessen nicht aus; diese verlangen eine klarere Blofslegung des Operationsfeldes. Zu diesem Zwecke schneide ich nach Eröffnung der membrana obturatoria atlantis und der dura mater und nach vorsichtigem Abtragen der Ränder der entstandenen Öffnung den häutigen Teil der Decke des vierten Ventrikels in

1) Meine Beiträge Bd. 4 S. 11 ff.

seiner Mitte, wo er ziemlich gefäfsarm ist, ein. Die ausfliefsende Cerebrospinalflüssigkeit wird mittels Röllchen von Fliefspapier sorgfältig aufgesaugt. Ist die Öffnung zu klein ausgefallen, um den Boden des vierten Ventrikels auf eine gröfsere Strecke übersehen zu können, so mufs man sie, selbst auf die Gefahr hin, einige Blutung zu erhalten, zu erweitern suchen, wobei man mit der Aufsaugung von Blut und Cerebrospinalflüssigkeit so lange fortfährt, bis man eine hinlänglich grofse Strecke vom Boden des vierten Ventrikels, namentlich die runden Stränge und die alae cinereae klar übersehen kann. Die Narkose unterbleibt, um keine Komplikationen einzuführen. Man thut wohl, nachdem die Blofslegung der membrana obturatoria ausgeführt ist, die Wunde mit einem weichen Schwämmchen auszufüllen, zu verschliefsen, dem Tier $^1/_2$—1 Stunde Ruhe zu lassen und unmittelbar vor der eigentlichen Piqûre den Harn noch einmal auszudrücken, um sich zu überzeugen, dafs durch die vorbereitenden Operationen keine Vermehrung der Harnsekretion oder eine Veränderung des Harns eingetreten ist. In den Zwischenzeiten zwischen den Operationen und dem Aufsammeln des Harns sind die Tiere frei, um etwaigen Fesselungsdiabetes auszuschliefsen. Ich lehre nun:

Eine jede einseitige oder auch doppelte Verwundung der Gegend, wo die funiculi teretes verlaufen, erzeugt, falls jene nicht zu oberflächlich geschieht und man die laterale Grenze der genannten Stränge nicht merklich überschreitet, eine deutlich zu Tage tretende zuckerlose oder fast zuckerlose Hydrurie.

Hierzu die folgenden Bemerkungen. Die Richtung der Verwundung scheint bei gleicher Länge und Tiefe von keinem hervorragenden Einflufs zu sein; sie darf nur nicht merklich über die seitliche Grenze des erwähnten Stranges hinausreichen, widrigenfalls man Gefahr läuft, Glycosurie zu erzeugen, die bei unseren Versuchen ausgeschlossen werden soll. Bei der Anlage von Längsschnitten ist man dieser Gefahr am meisten ausgesetzt, weil man die Richtung der eingeführten Messerspitze nicht immer genau verfolgen kann. Bei Schräg- und Querschnitten ist dies

weniger der Fall, weil man den Schnitt an der seitlichen Begrenzung des erwähnten Stranges beginnen und gegen die Mittellinie führen kann. Wie Längs-, Quer- und Schrägschnitte, sind auch in der Medianlinie des verlängerten Markes angelegte Schnitte von Erfolg, wenn dabei die einander zugekehrten Teile der runden Stränge ausgiebig verletzt werden. Man kann auch anstatt des einfachen Schnittes ein Stückchen aus dem genannten Strang ausschneiden. Die Länge des Schnittes mufs 3—4 mm Ausdehnung haben und hinlänglich tief sein. In letzterer Beziehung ist es schwer, eine brauchbare Angabe zu machen. Als Regel gelte im allgemeinen, das schmal, spitz und scharf zu wählende Messerchen so tief einzusenken, bis die Tiere anfangen, unruhig zu werden. Solche, die nach der Operation Unsicherheiten in ihren Bewegungen, selbst vorübergehende Zwangslagen zeigen, deuten in der Regel guten Erfolg an. Aber auch ohne diese Erscheinungen kann man solchen haben, ähnlich wie dies schon früher beim eigentlichen Diabetesstich bemerkt worden ist. Dafs oft scheinbar ganz gleiche Verwundungen nicht gleiche quantitative Resultate geben, versteht sich für diese Art von Versuchen von selbst. Es ist noch hervorzuheben, dafs man von jeder Stelle des funiculus teres aus, soweit man diesen auf dem Boden des vierten Ventrikels erreichen kann, die sogleich näher zu beschreibende Hydrurie erhält; ich habe noch befriedigenden Erfolg gehabt, als ich die Verwundung soweit rückwärts anlegte, wo eben der runde Strang auf dem Boden des vierten Ventrikels sichtbar wird; und ich zweifle nicht, dafs man noch weiter rückwärts von seinen Verlängerungen im Rückenmark die Harnvermehrung wird hervorrufen können. Bei allen Versuchen bleiben die alae cinereae unbehelligt. Wir dürfen also nicht lehren, dafs die fragliche Erscheinung nur von einem einzigen Punkte aus zu erhalten sei, aber anderseits auch nicht, dafs der mehrfach erwähnte, ausgedehnte Ort der einzige sei, dessen Verletzung jene gibt. Denn ich habe bei früheren und den jetzigen Versuchen auch von anderen Orten zuckerlose Hydrurien erhalten, wenn auch sehr inkonstant, manchmal so, dafs ich sie nur einmal und nie wieder unter

scheinbar gleichen Umständen erhielt. Die Gegend des funiculus teres ist also nur ein bevorzugter Ort, von dem aus man jene unter den beschriebenen Bedingungen ausnahmslos erhält. Ich wage nicht einmal zu sagen, ob sich ein gleiches Resultat einstellen wird, wenn man die Verletzung auf merkbar gröfsere Längen und Tiefen ausführt. Selbstverständlich ist es, dafs die gemachte Angabe über den Ort der Verwundung nur die Bedeutung eines rohen, topographischen Kennzeichens haben soll; über die in Wirklichkeit bedeutungsvollen mikroskopischen Elemente weifs ich zur Zeit nichts. Es läfst sich nur sagen, dafs sie nicht in den oberflächlichen Schichten des Marks liegen, weil alle Verwundungen, die nur diese treffen, so gut wie unwirksam sind.

II. Eigenschaften der auf die beschriebene Art erhaltenen Hydrurien.

Was die zeitlichen Verhältnisse anlangt, so verlaufen diese Hydrurien in der Regel so, dafs sie in der ersten Stunde nach der Operation ihr Maximum erreichen und von der zweiten an wieder abfallen. Wie sich für noch kürzere Zeiten die Mengenverhältnisse gestalten, kann man bei der gewählten Art der Harnaufsammlung nicht sicher ausmachen. In der dritten ist nur noch wenig oder gar nichts mehr von ihnen zu sehen. Deshalb habe ich auch die Versuche in der Regel mit einer zwei- bis dreistündigen Harnbestimmung nach der Operation abgeschlossen. Hiervon habe ich zwar Abweichungen in der Art beobachtet, dafs sich das Maximum erst in der zweiten Stunde zeigte, oder dafs der Eintritt der Abnahme sich über die zweite Stunde hinauszog, oder dafs nach begonnenem Abfall wieder eine Zunahme auftrat; aber diese Abweichungen sind selten. Ich glaube bemerkt zu haben, dafs sie dann besonders vorkommen, wenn die Neigungen zu Zwangsbewegungen stark ausgesprochen sind, welche bei wiederholtem Ausdrücken des Harns angeregt werden, und wenn sich dadurch die Tiere neue innere Verwundungen oder Vergröfserungen der vorhandenen zuziehen. Schon in früheren Mitteilungen habe ich angegeben, dafs die erwähnte typische Art des zeitlichen Verlaufes zumeist

auch den Hydrurieen eigen ist, die mit durch Piqûre erzeugter Glycosurie einhergehen.

Die Gröfse unserer Hydrurien anlangend, so fällt sie in verschiedenen Versuchen, selbst bei scheinbar gleichen Verwundungen, verschieden aus. Die Erregbarkeit der in Betracht kommenden Teile und die Güte des Sekretionsapparates wechseln von Tier zu Tier, und bei der gröfsten Achtsamkeit fallen die Verwundungen mehr oder weniger anders aus, als man sie beabsichtigt hat. Ich mache darauf aufmerksam, sich nur gesunder und kräftiger Tiere zu bedienen. Vergleicht man die in der ersten Stunde nach dem Eingriff abgesonderte Harnmenge mit dem Stundenmittel aus 2—3 unmittelbar vorher erhaltenen Mengen, so beträgt jene das fünf- bis fünfzehnfache und mehr dieser, die schlechtesten Beispiele mitgezählt und die ungünstigste Rechnungsweise vorausgesetzt. Selbstverständlich wechseln diese Verhältnisse, je nachdem man das Mittel aus zwei oder drei der vor der Operation erhaltenen Stundenmengen nimmt, oder gar nur die letzte Stunde allein in Betracht zieht. Nimmt man die Tiere unmittelbar vom Futter, so tritt die Vermehrung nicht so überzeugend auf, weil die vor dem Stich abgesonderten Mengen noch zu grofs und wechselnd sind. Ich gebe in der folgenden Tabelle einige gute und minder gute Beispiele.

(Siehe Tabelle auf S. 412.)

Versuche, die mechanische Einwirkung durch eine elektrische zu ersetzen, um auf diese Weise die Hydrurie andauernder zu machen, sind mir unter der Voraussetzung, dafs jedwede anderweitige Operation vermieden wurde, bis jetzt nicht befriedigend gelungen. Dagegen läfst sich, wenn die nach einseitiger Verwundung entstandene Hydrurie abzunehmen beginnt, durch eine neue Einwirkung auf der andern Seite, jene für einige Zeit wieder in die Höhe treiben.

Eine weitere Eigenschaft der in Rede stehenden Hydrurie ist die, dafs sich die Reaktion des Harns ändert. Am deutlichsten sieht man dies, wenn man von sauer oder amphoter reagierenden Harnen ausgeht, wie oben empfohlen. In beiden Fällen nimmt die sauere Reaktion ab und geht, wenn die Hydrurie

	Letzte stündliche Harnmengen vor der Operation[1]			Stündliche Harnmengen nach der Operation			Art der Verwendung
1.	0	2,0	4,5	21,0		8,0	Stiche in beide funiculi teretes, nahe an deren unteren inneren Rändern
2.	2,0	5,0	0,5	10,5		9,0	Etwa 2 mm langer Längsstich im rechten funiculus teres, neben der ala cinerea
3.	16,0	0	0	42,0		19,0	Schrägstich etwa 3 mm lang im linken funiculus teres
4.	7,5	1,0	0,5	23,0	23,0	4,0	5 mm langes Stückchen aus dem untersten Teil des rechten funiculus teres
5.	1,0	2,0	3,0	22,0		10,5	Stich in den untersten Teil des linken funiculus teres
6.	18,0	5,0	3,5	40,0	14,0	3,0	3 mm langer und tiefer Schnitt in der Medianlinie mit Verletzung der medialen Ränder der funiculus teretes
7.	0,5	3,25	0,5	26,5		4,5	3 mm langes Stückchen aus beiden funiculus teretes entfernt

nur einigermaſsen ausgebildet ist, schneller oder langsamer in die alkalische über, welche dann ihrerseits mit der Abnahme der Hydrurie wieder abzunehmen beginnt. Geht man von einer alkalischen Reaktion aus, so kann man in vielen Fällen noch mit dem Reagenzpapier eine Zunahme derselben erkennen. Wo dies nicht mehr angeht, wäre die erwähnte Eigenschaft durch eine genaue quantitative Analyse festzustellen. Ich habe dies bisher unterlassen, weil ich glaube, daſs dies sich erst dann lohnen wird, wenn jene Eigenschaft anf unsere Vorstellung von der Harnabsonderung klareren Einfluſs gewinnen wird, wir über Methoden verfügen, die Hydrurien dauernder zu machen und im stande sind, auf diese Weise gröſsere Harnmengen zu gewinnen. Bei der angeratenen Art und Weise, den Harn aufzusammeln, kann man zweifelhaft sein, ob die alkalische Reaktion nicht dadurch vorgetäuscht wird, daſs infolge des öfteren Druckes

1) Während der letzten Stunde vor Ausführung der eigentlichen Piqûre wurde diese soweit vorbereitet, daſs nach dem Ausdrücken des dieser Zeit zugehörigen Harns die Verletzung sofort ausgeführt werden konnte.

auf die Blase auf deren Schleimhaut eiweifshaltige Ausschwitzungen zu stande kommen, die sich dem Harne beimischen, selbst wenn dieser frei von jedweder Blutspur ist. Um sich hierüber zu beruhigen, kann man darauf hinweisen, dafs trotz des fortgesetzten Ausdrückens der Harn in den späteren Stunden nach der Operation wieder sauer werden kann. Es ist aber ratsam, das erwähnte Bedenken noch auf andere Art zurückzuweisen. Da sich in die Kaninchenureteren eingelegte Kanülen wegen ihrer notwendigen Enge leicht verstopfen, so habe ich eine Ektopie der Blase angelegt und den aus den Ureteren hervorquellenden Harn unmittelbar auf seine Reaktion geprüft. Nachdem die Blase durch einen Medianschnitt im hintersten Teil des Bauches hervorgezogen worden ist, werden ihre Gefäfse sorgfältig unterbunden, die vordere Wand wird in der Mitte aufgeschnitten, die Schnittränder werden an die Ränder des Bauchschnittes angeheftet, mit diesen zur Seite gezogen, in einer passenden Lage festgehalten und mit einer dicken Lage von Penghawar belegt. Der Sauberkeit und besseren Handhabung wegen kann man jenes recht gleichmäfsig verteilt in ein längeres Säckchen von weitmaschigem Linnengewebe einschliefsen. Mittels mehrmals in destilliertem Wasser ausgekochter Schwämmchen wird dann die vorliegende Schleimhautfläche der Blase sorgfältig gereinigt, und der hervorquellende Harn unmittelbar auf seine Reaktion geprüft. Nach beliebigen Zwischenräumen wiederholt man Reinigung und Prüfung. Man kann den Versuch auch dahin abändern, dafs man den Harn aus jedem Ureter besonders prüft, indem man mit einem fest aufgedrückten Schwämmchen oder kleinen Glasplättchen eine Ureterenmündung verschliefst und den Harn der anderen zur Prüfung benutzt. Es wird dabei manchmal beobachtet, dafs die Reaktionsänderung nicht auf beiden Seiten zugleich eintritt, sowie ferner noch, dafs, wenn der Übergang von der einen zur anderen Reaktion sich zu zeigen beginnt, dies in der Weise geschieht, dafs ein oder mehrere Tropfen bereits alkalisch reagieren, dann aber einer oder mehrere folgen, die wieder sauer sind; auf welche wieder alkalisch reagierte folgen. Dieser Wechsel kann sich wiederholen, bis schliefs-

lich die alkalische Reaktion andauert. Man kann sich dieses Verhalten in verschiedener Weise zurecht legen. Ich will aber hierauf nicht näher eingehen, weil meine diesbezüglichen Beobachtungen an Zahl noch gering sind, und ich diesen Punkt noch nicht so weit verfolgt habe, als er meiner Meinung nach verfolgt werden kann. Es ist kaum nötig, zu bemerken, dafs die bei unserer Hydrurie sich einstellende Neigung zur Alkalescenz derselben nicht eigentümlich ist. Auch bei Harnvermehrung durch Diuretica[1]) ist sie bekanntlich mehrfach beobachtet worden. Sie ist auch bei der Splanchnicus-Diurese[2]) für den Fall, dafs diese sehr merklich ausfällt, zum Vorschein gekommen.

Ich habe ferner vom Zuckergehalt dieser Harne zu sprechen. In dieser Beziehung ist zu sagen, dafs, wenn die Piqûre genau so ausgeführt wird, wie oben angegeben, jene nur sehr geringe Spuren von Zucker führen, in manchen Fällen sogar zuckerfrei sind. In keinem der vielen Versuche ist es mir gelungen, durch die Trommersche Probe, sei es, dafs man sie in ihrer ursprünglichen Form, sei es, dafs man sie mit Fehlingscher Lösung im Wasserbad von 75—80° anstellt, die Gegenwart von Zucker überzeugend nachzuweisen, so dafs also von Glycosurie in klinischem Sinne nicht gesprochen werden kann. Dagegen kommt man unter gleichzeitiger Anwendung des Worm-Müllerschen Verfahrens, des Nylanderschen Reagenz und der Gärungsprobe mit den notwendigen Kontrollversuchen zu der Überzeugung, dafs jene Harne Spuren von Zucker führen. In einigen Fällen fiel die Nylandersche Probe, selbst nach längerem Kochen, negativ aus; also kann es vorkommen, dafs der Zucker manchmal fehlt. In früheren Zeiten insbesondere zu denen Bernards und meiner früheren Versuche würde man diese Harne sämtlich unbedenklich für zuckerfrei erklärt haben. Heute ist es ratsam, sich dem Thatbestand entsprechend auszudrücken. Es bedarf kaum der Bemerkung, dafs dieses Verhalten

1) Rüdel, Über den Einflufs der Diurese auf die Reaktion des Harns. Archiv f. exp. Pathol. u. Pharmakol. Bd. 30 S. 41; in dieser Arbeit wird auch von gleichen Erfahrungen, die v. Schröder gemacht hat, berichtet.

2) Knoll, Über die Beschaffenheit des Harns nach Splanchnicussektion. Meine Beiträge Bd. 6 S. 39 u. 44.

bezüglich des Zuckers nicht durch ein vierundzwanzigstündiges Hungern hervorgerufen worden ist, so dafs der Ort der Verletzung nicht die Ursache desselben sei. Denn es ist ein Leichtes, an solchen Tieren durch Piqûre an anderen Stellen Hydrurie mit Glycosurie zu erzeugen. Auch an direkt vom Futter genommenen Tieren kann man die zuckerarmen Harne hervorrufen; hier wird nur, wie oben erwähnt, die Bestimmung der Harnvermehrung unsicher.

Über eine andere Eigenschaft unserer Harne bin ich bei der Anwendung der bisher angewandten Methode der Harnaufsammlung nicht in allen Fällen zur vollen Sicherheit gekommen. Sie betrifft die Frage, ob dieselben Eiweifs enthalten. Sicher ist, dafs nach unserer Operation bei ausgesprochener Hydrurie wohl selten ein Harn erhalten wird, in welchem dasselbe fehlt. Ich habe mich aber durch besondere Versuche überzeugt, dafs durch wiederholtes Ausdrücken der Blase, das man vor der Operation zur Bestimmung der mittleren Harnmenge vornehmen mufs, geringe Eiweifsmengen in den Harn gelangen können, bald mehr, bald weniger; manchmal fehlen sie. Der Harn ist dabei nicht blutig, und auch auf der Schleimhaut der Blase braucht man bei der Sektion keine gröberen Veränderungen anzutreffen. Dies begreift sich aus der gröfseren oder geringeren Leichtigkeit, mit welcher die Tiere ihren Harn hergeben und dem verschiedenen Grade des angewendeten Druckes. Es kann sich daher ereignen, dafs der zuletzt vor der Operation ausgedrückte Harn kein oder nur wenig Eiweifs führt, während der erste nach jener einen deutlichen oder vermehrten Eiweifsgehalt zeigt, der aber nicht als Resultat der Piqûre, sondern nur als Folge des erneuten Ausdrückens und vollkommeneren Ausspülens der Blase durch die vermehrten Harnmengen erscheint. Dies berücksichtigend, mufs ich das konstante Vorkommen von Eiweifs in unseren Harnen für nicht streng bewiesen halten. Um über diesen Punkt ins Klare zu kommen, mufs man bei den Harnaufsammlungen in anderer Weise verfahren. Ich lasse diesen Punkt also einstweilen unentschieden; obschon, wenn ich meine sämtlichen Erfahrungen in Betracht ziehe, der Ansicht zuneige, dafs

bei gut ausgebildeter Hydrurie diese Harne Eiweifs führen, welches nicht durch das Ausdrücken hineingekommen ist.

III. Art der Entstehung dieser Hydrurien.

Wir suchen uns darüber aufzuklären, indem wir die nach unseren jetzigen Kenntnissen möglichen Annahmen darüber machen und prüfen, inwieweit die angegebenen und weiter noch mitzuteilenden Thatsachen damit übereinstimmen.

1. Eine erste Annahme ist kaum der Erwähnung wert, weil sie sich mit wenigen Worten zurückweisen läfst; nämlich die, dafs man es mit einer einfachen Splanchnicushydrurie zu thun habe. Ich zeigte vor vielen Jahren[1]), dafs beim Hunde nach der Durchschneidung des Splanchnicus major auf einer Seite schwache Harnvermehrung auf derselben Seite, und nur auf dieser, eintritt und dafs sich dieselbe durch Stunden hindurch (bis zu sechs Stunden reichten die Beobachtungen) auf nahezu gleicher Höhe erhalten kann. In der Regel beträgt diese Vermehrung etwa das Doppelte, kann aber in seltenen günstigen Fällen bis zum Vierfachen anwachsen. Ich selbst bin übrigens nicht der erste Entdecker der Splanchnicusdiurese. Die ersten Angaben darüber finden sich bei Bernard[2]). Ich habe dieselbe aber genauer studiert und in manchen Punkten weitergeführt. Die Harne waren zuckerlos im älteren Sinn. Beim Kaninchen gelangen damals diese Versuche nicht[3]). Sollte bei diesem Tiere jedoch die Splanchnicushydrurie herstellbar sein, so ist sie jedenfalls keine häufig eintretende Erscheinung. Dies und vor allen Dingen der Umstand, dafs die jetzt betrachtete Hydrurie zeitlich anders verläuft als die Splanchnicushydrurie, wo dieselbe vorkommt, verbieten es, anzunehmen, dafs bei Verletzungen in der Gegend des funiculus teres im vierten Ventrikel es sich um eine solche handle, welche einer durch einfache Trennung des Splanchnicus erzeugten gleichkäme. Gelegentlich gemachten

1) Meine Beiträge Bd. 4 S. 165.

2) Bernard, Leçons sur les propriétés physiologiques et les altérations pathologiques des liquides de l'organisme. Bd. 2 S. 167 ff.

3) Meine Beiträge Bd. 4 S. 165.

Wahrnehmungen zufolge, welche für mich noch nicht hinlänglich überzeugend sind, möchte ich auch glauben, dafs die Piqûre-Hydrurie bei einseitiger Verletzung sich zumeist auf beide Seiten, wenn auch ungleich, erstreckt, die Splanchnicushydrurie unter allen Umständen nur auf der verletzten Seite auftritt. Ich habe früher schon gezeigt, dafs diese Schlufsfolgerung auch für diejenigen Piqûren gilt, die neben Harnvermehrung gleichzeitig Glycosurie geben[1]). Ich würde diese Annahme über die Entstehungsart der in Rede stehenden Hydrurie kaum erwähnt haben, wenn nicht in neuerer Zeit meine Angaben über die Erfolge der Splanchnicussektion für die Harnsekretion in Zweifel gezogen worden wären. Nach Schwarz[2]) verursacht die Durchschneidung des Splanchnicus einer Seite eine geringe Abnahme der Diurese. Er hat es so in vier Fällen gesehen. Die Zahl meiner Versuche mit dem von mir angegebenen Resultate ist viel gröfser. Man nehme sich nur einmal die Mühe, die Beispiele[3]) anzusehen, die in meinen Abhandlungen über Hydrurie vorkommen, teils da, wo die Splanchnicushydrurie besonders besprochen, teils da, wo sie bei Gelegenheit anderer Versuche nur nebenbei erwähnt wird. Auch in einer Abhandlung von Knoll[4]) finden sich Belege und ebenso liefsen sich noch mehrere andere aus späteren Abhandlungen von anderen Autoren zusammenschreiben. Ich glaube auch nicht, dafs, wenn man die erwähnten Arbeiten liest, man ihnen den Eindruck leichtfertiger Behandlung wird vorwerfen können. Herr Schwarz citiert nur einige wenige Autoren, welche die Splanchnicusdiurese gleich mir beobachtet haben. Falls er nicht zu kleine Hunde zu den Versuchen gewählt hat, bei welchen, wie ich früher schon angegeben habe[5]), die Vermehrung nicht deutlich auftritt, kann ich das von ihm erhaltene negative Resultat nur auf die Narkose schieben. Meine

---

1) Meine Beiträge, a. a. O. S. 170 ff.

2) Schwarz, Beiträge zur Physiologie u. Pharmakologie der Diurese. Archiv f. exp. Pathol. u. Pharmakol. Bd. 43 S. 13.

3) Meine Beiträge Bd. 4 S. 167, 169, 175, 176. 179.

4) Meine Beiträge Bd. 6 S. 39 ff.

5) Meine Beiträge Bd. 4 S. 165.

Tiere waren, wie ich ausdrücklich hervorgehoben[1]), nicht narkotisiert. Herr Schwarz gibt an, nach der Splanchnicussektion eine Abnahme der Sekretion gesehen zu haben. Dies wäre schon für kurze Zeit möglich. Da die Reizung des peripheren Stückes des durchschnittenen Splanchnicus die Urinsekretion verringert; ja, wenn jene stark gewählt wird, diese sistiert, so können unmittelbar nach der Durchschneidung, die wie ein Reiz wirkt, für kurze Beobachtungszeiten Abnahmen der Harnmengen vorkommen. Ich berühre bei dieser Gelegenheit noch den folgenden, nun sehr locker mit unserem Gegenstand in Zusammenhang stehenden Punkt. Er betrifft die Lehre von Schwarz[1]), daſs die Nebenniere in funktionellem Zusammenhang mit der Niere steht und dies auf die zwei folgenden Erfahrungen hin behauptet wird. Die eine ist die, daſs faradische Erregung der Nebenniere Verminderung der Harnsekretion bewirke. Das Thatsächliche will ich nicht leugnen. Wenn ich aber in Betracht ziehe, daſs einerseits derselbe Erfolg ebenso und jedenfalls noch viel sicherer durch Reizung des Splanchnicus, bevor Zweige desselben nach der Nebenniere abgehen, erzielt wird, und daſs anderseits sicherlich die meisten vom Splanchnicus nach der Niere gehenden Zweige an den hinteren Flächen der Nebenniere mit dieser fest durch feuchtes, elektrisch leitendes Gewebe verwachsen verlaufen[1]), also bei der von Herrn Schwarz gewählten Reizungsart mitgereizt werden, so kann ich nicht einsehen, daſs die Reizung der Nebenniere durch zwei in ihre Substanz eingestochene Elektroden so ohne weiteres etwas anderes als eine Splanchnicusreizung darstellt. So lange nicht nachgewiesen ist, daſs beide Reizungsarten nicht identisch sind, kann aus diesem Versuch auf eine besondere Beziehung oder einen funktionellen Zusammenhang der Nebenniere mit der Niere nicht geschlossen werden. Die andere Erfahrung besteht darin, daſs nach Injektion von Atropin die Reizung der Nebenniere

---

1) Meine Beiträge S. 167.

2) a. a. O. S. 14 ff.

3) Vgl. die von Noellner gegebene Abbildung in Band 4 meiner Beiträge.

ohne Erfolg ist. Dies ist bis zu einem gewissen Grade ein Analogon zu der Thatsache, dafs nach Nikotininjektion die Erregung des Halssympathicus keine Pupillarerweiterung mehr gibt, während die Reizung des Sympathicus kopfwärts vom Ganglion supremum sich wirksam erweist. Aus dieser Erfahrung schliefsen wir, dafs das genannte Ganglion einen Einflufs auf die Funktionen des Sympathicus hat, nicht aber, dafs es einen Einflufs auf die Bewegung der Pupille ausübt. Dieser ist nur ein sekundärer. Will man von ihm reden, so mufs er als solcher gekennzeichnet werden. Geht man bei den Versuchen an der Nebenniere von der nicht zurückgewiesenen Unterstellung aus, es handelt sich dabei um eine Reizung des Splanchnicus, so sagt der Vergiftungsversuch nur aus, dafs dieser Nerv während seines Verlaufs an und in der Nebenniere durch Atropinwirkung leitungsunfähig wird, und es handelt sich dann hier auch um einen direkten Einflufs der Nebenniere auf den Splanchnicus und nur um einen indirekten auf die Niere. Die Analogie zwischen Halssympathicus und Ganglion supremum einerseits und Splanchnicus und Nebenniere anderseits würde sich vollständiger herstellen lassen, wenn noch Versuche über die Reizung des Nerven jenseits der Nebenniere im Falle der Vergiftung vorlägen. Im übrigen ist noch zu bemerken, dafs die Splanchnicusfasern in ihrem Verlauf an der Nebenniere noch durch ein oder zwei Ganglien setzen, von welchen nachzuweisen wäre, dafs sie der Atropinwirkung nicht zugänglich sind. Der Zweck dieser Bemerkungen ist nur der, Vorsicht im Gebrauch des Satzes anzuwenden, dafs auf Grund der besprochenen Versuche ein funktioneller Zusammenhang zwischen Niere und Nebenniere bestehe; er führt leicht bei denjenigen zu Mifsverständnissen, welche die Einzelheiten der bezüglichen Versuche nicht gegenwärtig haben.

2. Man könnte die Meinung hegen, dafs ein durch die Piqûre irgendwie vermehrter Zuckergehalt des Blutes die Ursache sei, wenn auch der Zucker nur in geringer Menge im Harn erscheint. Für sehr wahrscheinlich wird man dies allerdings nicht halten, weil, wie oben angegeben, Fälle vorkommen, in denen der Zucker fehlt. Aber es ist doch nützlich, sich noch auf andere Weise

zu überzeugen, dafs man jene Annahme nicht machen darf. Mit Hilfe der Angaben, die sich bisher in der Literatur über den Zucker als Diuretikum finden, kann dies nicht geschehen, weil sich unter ihnen keine finden, die eine Anordnung und Ausführung haben, die uns hier eine Entscheidung geben können, abgesehen von den zwischen verschiedenen Angaben bestehenden Differenzen. Ich spreche hiermit keinen Tadel gegen die bezüglichen Versuche aus; ich sage nur, dafs, wie sie vorliegen, sich von ihnen für meine Zwecke kein Gebrauch machen läfst. Ich habe daher selbst eine Anzahl von Versuchen ausgeführt, welche für uns entscheidend sind. In ihnen waren die Auswahl der Tiere und die Mengenbestimmungen des Harns dieselben wie bisher. Es wurden denselben verschiedene grofse Zuckermengen von kleineren zu gröfseren fortschreitend, injiziert, und die nachher erhaltenen Mengen des Harns und ihre Reaktionen auf Zucker vermerkt, selbstverständlich ohne den Harn vorher zu concentrieren. Ich kam hierbei bald zu Zuckermengen, nach deren Injektion in die Jugularvene der Harn so viel Zucker führte, dafs es ein Leichtes war, ihn mittels der Trommerschen Probe in gewöhnlicher Ausführung nachzuweisen, was, wie angegeben, bei unseren Piqûren-Harnen niemals der Fall ist, bei welchen Versuchen aber die Vermehrung der Harnmenge, wenn sie überhaupt merklich war, keinen Vergleich aushielt mit jener der Harne, von denen wir reden. Auch verlief sie zeitlich nicht so, wie die Piqûrehydrurie, die Zeit gerechnet, von der der Einspritzung. Ich gebe hierzu einige Beispiele. Der Zucker war Traubenzucker und die injizierten Mengen waren nur in wenig Wasser gelöst.

Gewicht des Tieres und der injicierten Menge	Mittel der Harnmenge aus 3 Std. sparsamer Absonderung vor der Injektion	Stündliche Harnmengen nach der Injektion	Zuckerreaktion
1400 g 1,0 g	3,0	1,5 6,5 6,0	Die beiden ersten Mengen zeigen sehr deutliche Reaktion, bei der letzten sichtliche Abnahme
2000 » 1,2 »	1,5	4,5 1,5 4,5	
1800 » 1,5 »	3,0	2,5 5,0 4,5	

Man kann hieraus auch noch mit gröfster Wahrscheinlichkeit entnehmen, dafs, wenn eine Hydrurie vom vierten Ventrikel aus mit Glycosurie einhergeht, und die erstere dabei zeitlich ganz oder teilweise so verläuft, wie die unserige, die Ursachen davon der Hauptsache nach unabhängig vom Zuckergehalt sind.

3. Es können die Wirkungen der Piqûre der centralen Reizung besonderer Sekretionsnerven zugeschrieben werden. Man denkt dabei zunächst an Vagus und Splanchnicus. Mit dem ersteren ist sie nicht in Zusammenhang zu bringen. Zwar hat Bernard[1]) vor Jahren angegeben, dafs beim Kaninchen die Reizung der Vagi in der Nähe der Cardia des Magens die Urinsekretion anfache; ich konnte aber bei einer Wiederholung der Versuche diese Angabe nicht bestätigen.[2]) Verhielte sich die Sache so, wie Bernard angegeben, dann wäre allerdings die angegebene Annahme zu machen. Man mufs aber noch aus dem weiteren Grund von ihr abstehen, weil nach vorhergegangener Durchschneidung beider Vagi die von mir angegebene Piqûre das Auftreten zuckerloser Hydrurien noch, so weit ich nach meinen jetzigen Erfahrungen urteilen kann, ungeschwächt hervorruft. Bekanntlich gilt dies, wie ich schon vor Jahren angegeben habe, auch für die mit Glycosurie einhergehenden Harnvermehrungen. Es könnte nur noch die Frage aufgeworfen werden, ob die Vagi nicht einen Teil von echten Sekretionsfasern in sich schlössen. Wäre dies der Fall, dann müfste nach der Vagisektion die Piqûre eine geringere Harnvermehrung geben als bei Erhaltung dieser Nerven. Da aber scheinbar gleich ausgeführte Piqûren beim Gleichbleiben aller übrigen Umstände quantitativ verschiedene Erfolge geben, so verlangt die Beantwortung dieser Frage eine sehr grofse Anzahl von Versuchen. Über eine solche verfüge ich zwar zur Zeit noch nicht, aber bei den bisherigen ist mir eine merklich geringere Piqûrehydrurie nach Vagisektion nicht aufgefallen. Ich berühre diesen Punkt weiter unten noch einmal. —

---

1) a. a. O. Bd. 2 S. 175.

2) Meine Beiträge Bd. 4 S. 185.

Wir kommen zum Splanchnicus. Es ist schon oben angegeben worden, dafs die Reizung des Splanchnicus unmittelbar nach seinem Durchtritt durch das Zwerchfell die Urinsekretion verlangsamt bezw. zum Stillstand bringt. Das scheint anzudeuten, dafs der Splanchnicus nicht Sekretionsnerv ist. Es könnte aber seine secernierende Eigenschaft durch eine vasokonstriktorische verdeckt sein. Dies ist mit den uns zur Zeit zu Gebote stehenden Mitteln zu prüfen. Bevor dies geschieht, ist noch folgender Punkt zu erledigen. Die Niere erhält nur einen Teil ihrer Nerven direkt vom Splanchnicus; ein anderer Teil kommt vom Ganglion solare herüber. Der letzte anatomische Ursprung dieser Nerven ist zur Zeit nicht klargelegt. Sie können vom Splanchnicus stammen und nur einen Umweg über jenes Ganglion machen. Es kann aber auch anders sein. Es wäre nun denkbar, dafs in diesem Nervenzug secernierende Nervenfasern enthalten wären. Ein Reizungsversuch an ihnen ist leichter niederzuschreiben als auszuführen. Ich habe ihn aber beim Hund (beim Kaninchen habe ich aus auf der Hand liegenden Gründen davon abgestanden) in folgender Art angestellt.

Nachdem in den unteren Teil des linken Ureters eine Kanüle eingebunden worden war, suchte ich den medialen Rand der linken Nebenniere auf und legte den ganzen nach dieser hin gerichteten Rand des genannten Ganglion und die hier abgehenden Nierennerven frei. Während der Operation wurde die entsprechende Niere mit einem dicken, in physiologischer Kochsalzlösung erwärmten Schwamme bedeckt. Ein Assistent schob während der Reizung mit einem ähnlichen Schwamm die Baucheingeweide nach der Mittellinie hin. Der Harn flofs vor der Reizung tropfenweise ab; während derselben trat keine Vermehrung, eher eine kleine Abnahme ein. — Die vorigen Versuche ergänzend, füge ich noch hinzu, dafs nach früheren und neueren Versuchen Reizungen der verschiedensten Abschnitte des Bauchgrenzstranges, mit Ausschlufs des vorher erwähnten Nervenzuges und des Splanchnicus major, auch keine deutliche Harnvermehrung lieferten.

So der Suche nach sekretorischen Fasern zwischen den vasokonstriktorischen des Splanchnicus nicht überhoben, haben wir dieselbe nach auf anderen Gebieten gemachten Erfahrungen vorzunehmen, wo man sich in ähnlicher Lage befand. Wir erinnern uns nun erstens an die Thatsache, dafs man bei mehreren Drüsen durch sogenannte rhythmische Reizung, d. i. eine solche durch geringzahlige Reize in der Sekunde, die Sekretion sich mehren sah, so z. B. Pawlow[1]) die Magensekretion bei rhythmischer Reizung der Vagi. Bei solchen Versuchsarten betrug die Zahl der Induktionsstöfse 1—5 in der Sekunde. Das Kaninchen eignet sich für unsere Versuche nicht; seine Splanchnici sind sehr dünn und daher bei ihrer tiefen Lage unbequem zu handhaben, und da sich ferner in dessen Ureteren eingelegte Kanülen leicht verstopfen, wird die Beobachtung des Reizerfolges unsicher. Die Harnmengen durch Ausdrücken zu bestimmen, geht hier nicht an, weil man dabei der Beobachtung der Koincidenz von Reizung und etwaigem Reizerfolg verlustig geht. Ich habe daher die Versuche am Hunde angestellt und zwar in der Art, dafs ich den Nerven durch Inductionsströme reizte, die ein einfacher, nur wenige Male in der Sekunde wirkender Interruptor im primären Kreis in dem sekundären hervorrief, und wobei ich die Schliefsungsschläge durch eine Kroneckersche Vorrichtung abblendete. In den Versuchen betrug die Zahl der zur Verwendung kommenden Ströme 1—4 in der Sekunde, und wurden dieselben in sehr verschiedenen Stärken angewendet. Ich habe meine Versuche mehrmals unter den verschiedensten Umständen wiederholt, konnte aber in keinem Falle eine vermehrte Sekretion beobachten. Auf das Verhalten der Nierengefäfse habe ich dabei nicht geachtet. Es sind also auch diese Beobachtungen ungünstig für unsere dritte Annahme ausgefallen. Sollten die Versuche in anderen Händen erfolgreich sein, dann müssen Zahl und Stärke der Ströme in sehr engen Grenzen eingeschlossen sein, oder dabei noch andere Umstände in Betracht kommen.

---

1) Pawlow, Die Arbeit der Verdauungsdrüsen.

Ich benutze diese Gelegenheit, die Frage anzuregen, ob wohl alles in der Lehre über Sekretionen und Gefäſserweiterung ohne und mit Sekretionsvermehrung durch geringzahlige Induktionsströme in der Zeiteinheit in Ordnung ist. Wenn wir mit Erfolg die hervorragenden gefäſserweiternden Nerven des Penis oder der Submaxillardrüse reizen wollen, so bedienen wir uns derselben elektrischen Reizungsart, die wir auch bei den Muskelnerven und den gefäſsverengernden Nerven anwenden. Ich habe es zwar noch nicht versucht, glaube aber kaum, daſs man in den genannten Beispielen einen merklichen Erfolg haben wird, wenn man nur 1—3 Induktionsströme in der Sekunde anwendet. Es erscheint doch höchst sonderbar, daſs andere gefäſserweiternde und Drüsennerven nur noch allein eine besondere Eigentümlichkeit zeigen sollten. Dies bedarf, wie es mir scheint, einer weiteren Untersuchung und Aufklärung. Auch der Umstand scheint mir noch auffällig, daſs nach der Angabe von Pawlow[1]) die Magensekretion, durch Vagusreizung auf die angegebene Art einmal angeregt, auch ohne Reizung noch längere Zeit fortdauert. Man verstehe mich nicht falsch. Ich erhebe mit den gemachten Bemerkungen keinen Widerspruch gegen behauptete Thatsachen, sondern will nur darauf aufmerksam machen, daſs hier noch etwas dunkel ist.

Man kann zweitens daran denken, noch auf eine andere Art nach der Existenz von Sekretionsfasern im Splanchnicus zu suchen. Bekanntlich hat Goltz die Angabe gemacht, daſs nach der Durchschneidung eines Nerven die Vasokonstriktoren schneller absterben sollen als die Vasodilatatoren. Es liegt nicht fern, anzunehmen, daſs sich Sekretionsnerven wie die letzteren verhalten möchten. Gemäſs dieser Möglichkeit wäre also der Splanchnicus zu durchschneiden und 4—5 Tage später zu reizen, diesmal aber nicht durch geringzahlige Induktionsströme, sondern in der Art, wie wir dies bei der Chorda behufs Erzeugung der Speichelsekretion thun. Aus den vorher angegebenen Gründen müssen auch diese Versuche am Hunde ausgeführt werden.

1) Pawlow, a. a. O. S. 70.

Trotz der geringen Aussicht auf Erfolg habe ich, um kein Mittel unversucht zu lassen, mittels dessen möglicherweise Sekretionsfasern im Splanchnicus nachweisbar wären, den angedeuteten Versuch ausgeführt. Als fünf Tage nach der Sektion des Splanchnicus die frühere Operationswunde geöffnet wurde, fand man nur leichte Verklebungen in der Wunde ohne merkliche Eiteransammlung vor. Der durchtrennte Nerv wurde leicht gefunden und war lang genug, um bequem gereizt werden zu können. Die vor und während der Reizung in gleichen Zeiten erhaltenen Harnmengen waran nicht merklich verschieden. Da dieselbe mit solchen Induktionsströmen, die am frisch durchschnittenen Splanchnicus leicht Verminderung und Stockung der Sekretion ergeben, geschah, so mufsten die Vasokonstriktoren abgestorben gewesen sein. Mit den bisherigen Hilfsmitteln sind also im Splanchnicus keine Sekretionsfasern nachzuweisen. Ich war bekanntlich früher der Annahme von Sekretionsfasern für die Nierensekretion sehr geneigt, ersehe auch aus der Litteratur, dafs der eine oder andere Autor noch an solche denkt.[1]) Eben deshalb habe ich kein Prüfungsmittel unversucht gelassen, durch welches dieselben möglicherweise speciell für den Splanchnicus konstatiert werden könnten. — Betrachten wir nun noch die Folgen der jetzigen Piqûre nach vorausgeschickter Splanchnicussektion und erwägen, was aus diesen etwa zu erschliefsen ist. Vor Jahren zeigte ich[2]), dafs beim Hunde nach einseitiger Splanchnicustrennung durch die Piqûre noch auf derselben Seite Harnvermehrung erhalten werden kann, ja dafs dies sogar eine häufige Erscheinung ist. Ich sagte nicht, dafs sie unter allen Umständen, auch nicht, dafs sie in gleicher Gröfse wie bei Unterlassung jener Operation erscheint. Dies durfte ich nicht, einesteils, weil ich beobachtet hatte, dafs bei der Piqûre ohne vorausgegangene Splanchnicusdurchschneidung die Hydrurie nicht auf beiden Seiten gleich grofs ausfällt, ja auf einer Seite zuweilen fehlen kann, anderenteils zwei scheinbar in gleicher Weise ohne vorausgeschickte Splanchnicussektion ausgeführte

1) G. Vinci, Centralbl. f. Physiol. Bd. 14 S. 728.

2) Meine Beiträge Bd. 4 S. 175 ff.

Piqûren trotz aller angewendeten Vorsicht quantitativ verschiedene Erfolge haben können. Ich habe zwar bei jenen Versuchen keinen Unterschied zwischen zuckerlosen und zuckerhaltigen Harnen gemacht, habe aber oben als sehr wahrscheinlich angemerkt, dafs hinlänglich Grund vorliegt, anzunehmen, dafs bei gleichem zeitlichem Verlauf der Hydrurie der Zucker keine Bedeutung für die Wasserausscheidung hat. Mit Rücksicht auf die Thatsache nun, dafs nach der Splanchnicusdurchschneidung auf einer Seite die Harnvermehrung nach Piqûre auch auf dieser für gewöhnlich noch erscheint, können wir sagen, dafs jedenfalls die Piqûre-Hydrurie nicht in ihrer ganzen Gröfse durch den Splanchnicus vermittelt wird; dies schliefst nicht aus, dafs er sich bei ihrem Zustandekommen bis zu einem gewissen Grade beteiligt, wenn auch nicht, wie aus früherem hervorgeht, in der Form eines Sekretionsnerven.

Leider bin ich zur Zeit nicht in der Lage, durch Versuche am Kaninchen strenge zu beweisen, dafs das Gesagte auch für sicher experimentell dargestellte zuckerlose Hydrurien gilt; der Grund davon liegt teils in der Unsicherheit der Harnmengenbestimmung durch die hier notwendigen, engen, sich leicht verstopfenden Kanülen, teils in der Besorgnis eines Fesseldiabetes, der bei diesem Tiere besonders leicht eintritt. Doch lassen sich hier für unseren Zweck belehrende Versuche in der Weise anstellen, dafs man die Piqûre der Funiculi teretes nach der Durchschneidung beider n. Splanchnici ausführt, wobei die erwähnten störenden Umstände wegfallen und zu beobachten sucht, wie sich die Harnsekretion unter diesen Umständen gestaltet. Man kann solchen Versuchen wenig Vertrauen entgegenbringen, bemerkend, dass ein armseliges Kaninchen, an welchem man die doppelseitige Splanchnicusdurchschneidung, dann Harnbestimmungen durch mehrere Stunden, hierauf die Piqûre und endlich noch einmal mehrere Harnbestimmungen auszuführen hat, nur unsichere Resultate liefern kann. Ich habe daher die Versuche so angestellt, dafs ich in einer ersten Sitzung aus beiden Splanchnici je ein Stück von 1 cm Länge und darüber ausschnitt, dann sich die Tiere von dieser Operation erholen liefs und früher oder später in einer zweiten

die Piqûre mit den dabei nötigen Bestimmungen anlegte. Ich wählte dies Verfahren auch noch deshalb, weil ich bei dieser Gelegenheit über etwaige trophische Wirkungen des Splanchnicus mich aufzuklären gedachte.

Führt man die Operation aseptisch, so gut das bei Tieren geht, hinter dem Peritonaeum in einer möglichst kleinen Wunde aus und hält die Tiere in desinfizierten Käfigen, so kann man ihnen aufser einer gewissen Traurigkeit nach 10—12 Stunden kaum etwas anmerken. Sie sind dann munter, nehmen Nahrung wie gewöhnlich auf und an den Ansscheidungen des Kotes und des Harnes ist, wenn man die ersten 1—2 Tage ausnimmt, auf die Dauer nichts Auffälliges zu bemerken. Gibt man ihnen die gleiche Nahrung in gleichen Mengen wie vor der Operation, so sind insbesondere die Harnmengen und deren Reaktionen im grofsen und ganzen dieselben wie vorher. Auf sehr genaue quantitative Analysen stützen sich allerdings diese Bemerkungen nicht; ich habe von solchen Abstand genommen, weil ich mir vorerst keinen wesentlichen Erfolg von einer solchen Arbeit versprach. Die Tiere bleiben Wochen und Monate gesund. Sektionen an absichtlich zu verschiedenen Zeiten nach der Operation getöteten Tieren zeigen nichts Auffallendes. Man findet keine Entzündungserscheinungen oder sonstige gröbere pathologische Veränderungen an den Nieren oder den Eingeweiden. In den entstandenen extraperitonealen Wunden stöfst man auf unbedeutende Eiterungen oder auf käsige Massen, je nachdem man die Tiere früher oder später tötet. Genauere mikroskopische Untersuchungen an den vom Splanchnicus versorgten Organen habe ich nicht vorgenommen und überlasse sie denen, die hier noch etwas zu finden hoffen. Bei den zahlreichen Versuchen, die ich angestellt habe, verlor ich nur ein Tier, und zwar wenige Stunden nach vollendeter Operation, vermutlich durch Lufteintritt in den Pleurasack, was sich ereignen kann, wenn man in der Absicht, ein hinlänglich langes Stück des Splanchnicus zu entfernen, bei dem Eingreifen desselben da, wo er durch seine Spalte des Zwerchfells tritt, die Pleura einreifst. Für denjenigen, welcher klar die Durchschneidung der Nerven ausgeführt hat, ist kaum

eine Kontrolle durch die spätere Sektion nötig. Will man sich aber eine solche verschaffen, so ist es ratsam, die Tiere schon nach wenigen Tagen zu töten, weil in späterer Zeit die Stümpfe der durchschnittenen Nerven so sehr mit der Umgebung verwachsen sind, dafs man sie nur unsicher auffindet. Auch an Katzen habe ich längere Stücke aus beiden Splanchnici mit demselben Resultat ausgeschnitten. Von den nach der Operation munteren Tieren habe ich eins drei Wochen nach der Splanchnicussektion absichtlich getötet und mich von demselben gesunden Zustand der Eingeweide überzeugt, wie er bei Kaninchen unter denselben Bedingungen existiert.

Kurz also, Pflanzen- und Fleischfresser ertragen die Sektion beider Splanchnici auf Wochen und Monate, ohne wesentliche Veränderung ihrer Darm- und Nierenfunktionen und ohne makroskopische pathologische Veränderungen an den bezüglichen Organen zu zeigen. Es müssen also die Funktionen, welche jene Nerven an Darm und Nieren ausüben, entweder so gering sein, dafs ihr Ausfall keinen wesentlichen Nachteil bringt, oder es müssen dieselben auf eine andere Art und zwar in kurzer Zeit ersetzbar sein. Es wird eine neue Aufgabe der Physiologie sein, hierüber weitere Nachforschungen anzustellen, um so mehr, als, wie bekannt, auch in anderen Gebieten des Nervensystems mehrfach Ersatz des Ausfalles gewisser Funktionen durch Nerventrennungen beobachtet worden sind.[1]) An solchen Tieren habe ich nun die Ventrikelpiqûre an denselben Stellen ausgeführt, wie oben beschrieben und zwar in verschiedenen Fällen zu verschiedenen Zeiten nach der Splanchnicidurchschneidung, wechselnd von einem bis zu 14 Tagen nach der letzteren. Auch bei diesen Versuchen liefs ich die Tiere so lange hungern, bis der Harn begann, amphoter oder sauer zu reagieren und die Harnmengen klein und in gleichen Zeiten nicht sehr different waren. Die Mehrzahl der Versuche wurde so angestellt, dafs die Harnvermehrungen bei zwei möglichst gleichen Tieren, das eine mit unverletzten, das andere mit

1) In den neueren Erfahrungen dieser Art gehören die von Nikolaides mitgeteilten. Centralbl. f. Physiol. Bd. 14 S. 197.

durchschnittenen Splanchnicis, bei möglichst gleichen Verwundungen miteinander verglichen wurden. Durch viele Versuche dieser Art habe ich den Eindruck erhalten, als ob nach vorgängiger Splanchnicisdurchschneidung durch die Piqûre zwar noch zuckerarme Hydrurien möglich wird, dafs dieselben aber in der Regel nicht den Grad erreichen als bei Tieren mit erhaltenen Splanchnicis. Ich mufs sagen, den Eindruck, nicht mehr; denn ich muss die Möglichkeit zulassen, wie ich schon oben gesagt habe, dafs selbst wenn man sich auf der Höhe der Übung befindet, es sich doch ereignen kann, dafs der Erfolg einer Piqûre, auch noch so tugendhaft beabsichtigt und ausgeführt, hinter der Erwartung zurückbleibt. Auch mufs ich anführen, dafs, wenn auch selten, es vorgekommen ist, dafs die Gröfse der Hydrurie durch Piqûre nach Splanchnicidurchschneidung einen respektablen Wert erreichte. Aber, wenn ich die grofse Anzahl meiner Versuche in Betracht ziehe, kann ich mich des erwähnten Eindrucks nicht entziehen.

Wir wollen daher bis auf weiteres jenem Eindruck nachgeben, und können dann die Bedeutung des Splanchnicus für Piqûrehydrurie so aussprechen: Er kommt bei derselben nicht als ein secernierender Nerv in Betracht, beteiligt sich aber dabei in einem gewissen Grade in einer noch anzugebenden Weise.

Aufser dem Vagus und Splanchnicus könnte als secernierend bei unserer Hydrurie wirkend noch diejenigen Rückenmarksnerven in Betracht kommen, die nicht durch den Splanchnicus ziehen. Ich habe aber für diese Annahme bis jetzt keinen Anhaltspunkt finden können. Die verschiedensten Reizmethoden, die zum Nachweis solcher Nerven bisher angewendet worden sind, ergaben bei den verschiedensten Abteilungen des Grenzstranges keine vermehrte Sekretion und nach der Entfernung beider Grenzstränge waren noch ergiebige Piqûrehydrurien möglich. Damit nicht von anderer Seite Zeit, Mühe und Material verschwendet werde, will ich noch von folgendem negativen Ergebnis berichten. In Anbetracht des Umstandes, dafs bei den am besten gekannten Sekretionsnerven diese stets rückwärts am Ausführungsgang verlaufend in den Hilus dringen, kann man es für die Niere

nicht unwahrscheinlich finden, dafs vom plexus hypogastricus aus aufwärts etwaige Sekretionsnerven an der Blase und den Ureteren bis zum Hilus der Niere vordringen, wenn auch gröbere anatomische Bahnen dieser Art vermifst werden. Man kann sich dies noch in der Art ausmalen, dafs man daran erinnert, wie in den genannten Plexus vom Rückenmark her die gefäfserweiternden Nervi erigentis eintreten, von denen Abzweigungen nach oben Erweiterungen der Nierengefäfse und damit verbundene Harnsekretion bewirken könnten. Als Phantasiespiel nimmt sich dies leidlich aus; in Wirklichkeit ist es nichts damit. Selbst wenn man die Harnabsonderung durch die von der Blase her freigelegten Ureterenmündungen beobachtet, um durch in die Ureteren eingebundene Kanülen den vorausgesetzten Verlauf der Nerven nicht zu unterbrechen, sind alle Reizungsarten der N. origontes erfolglos. Damit stimmt überein, dafs nach vorgängiger Durchschneidung dieser Nerven auf beiden Seiten die Piqûrehydrurie nach wie vor herstellbar ist.

Ich will noch bemerken, dafs G. Vinci[1]) zufolge von Versuchen am Rückenmark des Hundes im Halsmark desselben zwischen dem dritten und vierten Wirbel ein für die Harnsekretion gelegenes Centrum annimmt. Eine ähnliche Annahme hatte ich bekanntlich schon vor vielen Jahren gemacht. Um mich aber derselben zu versichern, suchte ich nach den bezüglichen peripheren Sekretionsnerven. Ich fand solche nicht. Ebenso negativ sind, wie ich in diesem Abschnitt beschrieben, erneute Versuche ausgefallen, bei denen all die Hilfsmittel herangezogen worden sind, auf die man nach Erfahrungen der Neuzeit verfallen konnte. Bei Vinci finden sich, entgegengesetzt meiner Erwartungen, keine genauen Mitteilungen über die von mir so beharrlich gesuchten peripheren Nerven und ist daher zur Zeit die Annahme eines besondern centralen, durch Sekretionsnerven wirkenden Harnsekretionscentrums der mächtigsten Stütze beraubt.

4. Eine weitere Hypothese, die Piqûrehydrurie zu erläutern, besteht in der Annahme, dafs durch periphere Verengerung der

1) G. Vinci, a. a. O. Bd. 34 S. 288.

Körpergefäfse ein vermehrter Aortendruck mit für die Wasserausscheidung günstiger Folge der Blutwogung in den Nieren entstehe. Indem ich die Hypothese in dieser Form ausspreche, bleibt es unentschieden, ob die vermehrte Blutbewegung durch die Nieren gröfsere, rein filtrierende Kräfte setze oder in andrer Weise wirksam sei, etwa die Zellen zu gröfserer, Wasser ausscheidender Thätigkeit veranlasse; diese Frage wird hier nicht behandelt. — Bekanntlich folgen dieser Hypothese die meisten der heutigen Physiologen und haben wir nach den sub 3. erweiterten Erfahrungen verstärkten Grund dazu. Die positiven Gründe, welche für dieselbe sprechen, sind so ziemlich allgemein bekannt und bedürfen keiner besonderen und vollständigen Ausführung; doch will ich sie besprechen, um Gelegenheit zu haben, einige nützliche Bemerkungen über dieselben zu machen.

a) Nach der Piqûre ist der Aortendruck erhöht.

Vor Jahren habe ich einmal einen Versuch über diesen Gegenstand in der Art angestellt, dafs ich nach Bestimmung des Druckes vor der Piqûre, die desselben nach der letzteren an das Ende der ersten halben Stunde der Absonderung verlegte, also in eine Zeit, zu welcher nach meinen Erfahrungen die vermehrte Absonderung in vollem Gang sein mufste. Ich fand damals keine merkliche Erhöhung des arteriellen Druckes. Auf diesen Versuch bin ich später nie wieder zurückgekommen, weil ich, laut meines Tagebuchs, es unterlassen hatte, die vorausgesetzte Hydrurie ihrem Mafs nach zu kontrollieren. Bei dieser neuen Beschäftigung mit dem Gegenstand habe ich jenen Versuch in folgender Art wiederholt. Um das Kaninchen nicht des Blutanteils zu berauben, welcher bei der Bestimmung des Druckes in das Verbindungsglied zum Manometer strömt, liefs ich bei offenem Hahn desselben und der Lage, bei welcher die Einbindung in das Gefäfs (arteria femoralis) zu geschehen hatte, die Quecksilbersäulen sich ausgleichen, schlofs den Hahn und füllte den offenen Manometerschenkel bis nahe zur Höhe des mittleren Aortendruckes beim Kaninchen mit Quecksilber auf. Dann folgte die Verbindung des Manometers mit dem Gefäfs und die Beobachtung des Druckes vor Ausführung der Piqûre.

Die oben angegebenen groben Vorbereitungen zu dieser waren bereits vorher, am Ende der Anzahl von Stunden, die zur Feststellung der mittleren Gröfse der Harnabsonderung vor der Piqûre notwendig waren, geschehen. Das Tier war auf dem Rücken gelagert, gestattete aber durch Drehung des Halses die Ausführung der vorbereiteten Piqûre. Während dieser selbst hatte ein Assistent den Verbindungshahn zum Manometer zu schliefsen und das Bein zu fixieren. Nach Vollendung der Piqûre wurde die Wunde durch einen feuchten Schwamm bedeckt und die Haut darüber durch einige Nähte geschlossen. Es folgte die Beobachtung des Blutdruckes nach der Piqûre, die während einer halben Stunde fortgesetzt werden konnte, namentlich, wenn man das aufgebundene Gefäfsstück ab und zu mit einer Lösung von doppelkohlensaurem Natron bestrich. Der Versuch ist compliziert und erfordert geschickte Gehilfen. Nach Unterbrechung des Blutdruckversuches wurde die während seiner Dauer abgesonderte, durch Ausdrücken erhaltene Harnmenge bestimmt. Zwar habe ich durch Mifsgeschick manchen Versuch verloren; aber ich habe mich überzeugt, dafs während einer reichlichen Hydrurie Erhöhung des Blutdruckes besteht. Während der Dauer des Versuchs nimmt er etwas ab. Ob dies genau dem Sachverhalte entspricht, wie er bei einem Tiere besteht, das nach ausgeführter Piqûre, von seinen Fesseln befreit, seine Harnabsonderung ausführt, kann nicht mit aller Bestimmtheit gesagt werden, und ebenso nicht, ob unter allen Umständen bei der Piqûrehydrurie erhöhter Aortendruck besteht. Meine Versuche sind nicht zahlreich genug, um mich so positiv aussprechen zu können, dafs das Resultat durch weitere Versuche unangetastet bleibt.

b) Nach Verschliefsung gröfserer arterieller Gefäfsstämme erhöht sich der Aortendruck und die Nierensekretion nimmt zu.

Den zahlreichen Beispielen, die hierüber bekannt geworden und in die Lehrbücher übergegangen sind, scheint kaum etwas Nennenswertes hinzugefügt werden zu können. Doch begegnete ich, als ich in dieser Richtung speziell beim Kaninchen einige

Versuche zu meiner eigenen Belehrung anstellte, einer Thatsache, die bisher nicht bemerkt worden zu sein scheint. Die alleinige Verschliefsung der Bauchaorta dicht über ihrer Teilungsstelle ergab in mehreren Versuchen allerdings eine deutliche, aber nur eine geringe Harnvermehrung. Die der Arteria mesenterica superior und coeliaca zugleich ergab in manchen Fällen ein etwas besseres Resultat, in anderen aber nicht. Da mir diese Tiere wenige Stunden nach der Gefäfsunterbindung starben oder doch ein Verhalten zeigten, als ob sie dem Verenden nahe seien, so gab ich diese Versuche auf, um sie vielleicht später einmal wieder aufzunehmen. Als ich aber die beiden Carotiden, und nur diese, unterbunden[1]) hatte, stellte sich eine Hydrurie ein, die in Beziehung auf Gröfse, zeitlichen Verlauf, Reaktion und Zuckergehalt in hohem Grade derjenigen glich, wie ich sie bei Verwundung des Bodens des vierten Ventrikels in der Gegend der funiculi teretes erhalten hatte. In einem Falle konnte ich bei künstlicher Blasenektopie während der Vermehrung des Harns die Anderungen der Reaktion desselben genau so verfolgen, wie ich es oben für unsere Piqûre beschrieben habe. Es ist kaum nötig, zu bemerken, dafs ab und zu einmal der Fall vorkommt, dafs die Harnvermehrung nicht so reichlich ausfällt, als man es der Mehrzahl der Versuche nach erwartet. Das ist aber das Schicksal gar vieler am Tierkörper oder einzelnen Teilen desselben ausgeführten Versuche, selbst wenn die Technik einfach und sicher zu beherrschen ist wie hier, indem das quantitative Resultat wesentlich durch die Güte des Präparates, über welche man nicht Herr ist, mitbedingt wird. Ich wollte dies bemerken, um es nicht verfänglich zu finden, dafs, wenn gelegentlich auch einmal die viel schwieriger auszuführende Piqûre ein weniger befriedigendes Resultat gibt. Ich gebe folgende Beispiele, gute und minder gute. Die Tiere waren nur während der kurzen Zeit der Anlegung der Ligaturen gefesselt.

---

1) Ich empfehle, jede Carotis zweimal dicht hintereinander zu unterbinden, um des vollständigen Verschlusses sicher zu sein.

	Stündliche Harnmengen vor der Carotidenunterbindung			Stündliche Harnmengen nach der Carotidenunterbindung		
1.	0	0		15,0	3,2	
2.	4,0	2,5	0	20,0	20,0	4,0
3.	0	0	4,0	14,0	7,0	
4.	0	0	0,5	29,0	18,0	8,0

Diese Erfahrung ist etwas auffällig, wenn man bedenkt, dafs die Unterbindung der Bauchaorta am angegebenen Ort, durch welche nach einem Überschlag der Blutbewegung wohl kaum weniger periphere Hindernisse gesetzt werden, als durch die Unterbindung beider Carotiden, eine nur geringe Harnvermehrung ergibt. Ohne weitere Untersuchungen angestellt zu haben, kann man sich diese Wahrnehmungen in verschiedener Weise zurechtlegen. Man verfällt dabei zuerst und fast unwillkürlich auf die Annahme, dafs durch die Carotidenunterbindung infolge von Anämie des Gehirns in letzterem Anregungen entstehen, die gleichwertig mit den Wirkungen der Piqûre sind. So lange die Unzulässigkeit dieser Annahme nicht zurückgewiesen ist, dürfen wir die Hypothese 4 über die Harnvermehrung nach der Piqûre nicht durch den Hinweis auf die Harnvermehrung mittels Unterbindung gröfserer Gefäfsstämme mit solchen Beispielen stützen, in denen die Unterbindung beider Carotiden allein oder neben einer solchen anderer Gefäfsstämme vorkommt. An anderen Tieren, aufser am Kaninchen, habe ich keine Versuche angestellt.

Wenn nun auch die in Rede stehende Hypothese durch die Erfahrungen von Harnvermehrung nach Unterbindung gröfserer, arterieller Gefäfse eine Stütze erhält, so ist diese doch nicht besonders hoch anzuschlagen, weil die Harnzunahme, wenn man von dem Fall der Carotidenunterbindung absieht, in der Regel nicht sehr reichlich ausfällt. Dieser Mangel wird gedeckt durch die Beobachtung, dafs

c) n a c h V e r s c h l i e f s u n g m ö g l i c h s t u m f a n g r e i c h e r p e r i p h e r e r G e f ä f s b e z i r k e die Harnvermehrung s e h r be-

trächtlich zunimmt in Übereinstimmung mit der theoretisch begründeten Erfahrung, dafs die Verengerung des peripheren Bezirks einer Arterie für die Erhöhung des Blutdrucks in der Aorta günstigere Resultate als die des Arterienstammes liefert. In dieser Beziehung scheint es mir nun nicht besonders ersprieſslich, solche Beobachtungen heranzuziehen, welche sich auf die Verengerungen peripherer Gefäſse durch die Einwirkung von Kälte beziehen. Unsere Litteratur ist im Besitz einer Anzahl von Untersuchungen dieser Art[1]). Ohne den anderweitigen Wert derselben zu schmälern, ist über dieselben zu bemerken, dafs sie für unsern gegenwärtigen Zweck nicht eindeutig genug sind. Es kann nämlich die Erkältung auſser ihrer direkten verengernden Wirkung auf die peripheren Gefäſse auch noch reflektorische, von den Centralorganen aus hervorrufen, von denen wir nicht wissen, welcher Art sie sind. Dafs dabei das Blut mit erkältet wird, ist ein anderer, störender Faktor. — Verengerungen peripherer Gefäſse, die einen solchen Einwand ausschlieſsen, mit ihren Folgen erhöhten Aortendrucks und vermehrter Nierensekretion (oder auch Erweiterungen mit ihren Gegenteilen) sind nun bekanntlich durch Arbeiten am Rückenmark, besonders von Ustimowitsch[2]) und Grützner[3]) ausgeführt worden. Die äuſsere Veranlassung dazu ist die von mir aufgestellte Hypothese von der Existenz eines im Mark liegenden Harnsekretionscentrums gewesen, welches ich um eine Anzahl verschiedener Einzelheiten, die ich bei der Piqûre beobachtet hatte, zu erklären, durch erregende und hemmende Nerven wirken lieſs. Unter den Thatsachen, die zu jener Annahme führten, waren es insbesondere die zwei, dafs nach hohen Markdurchschneidungen sehr häufig

1) Ich führe davon die folgenden an: Müller, Über den Einfluſs der Hautthätigkeit auf die Harnabsonderung. Archiv f. exp. Pathol. Bd. 1 S. 429. Delezenne, De l'influence de la réfrigération de la peau sur la sécrétion urinaire. Arch. de physiol. (5) 6, p. 446. Lambert, De l'influence du froid sur la sécrétion urinaire. Ibid. (5) 9, S. 129.

2) Ustimowitsch, Experimentelle Beiträge etc. Berichte über die Verhandl. d. K. S. Ges. d. Wiss. Math.-phys. Kl. Bd. 22 S. 430.

3) Grützner, Beiträge zur Theorie der Harnsekretion. Pflügers Arch. f. die ges. Physiol. Bd. 11 S. 370.

die Nierensekretion stundenlang stockte, und daſs es in einigen Fällen gelang, dieselbe durch Erregung des unteren Rückenmarksabschnittes wieder anzufachen. Dabei hatte ich die Wirkungen dieser Operationen auf die Gefäſsweite und den Aortendruck nicht schuldigst in Betracht gezogen. Durch die Untersuchungen von Ustimowitsch und Grützner wurde nun dargethan, daſs die Erscheinungen der Harnsekretion, welche den Durchschneidungen und Reizungen des Rückenmarks folgen, befriedigend erklärt werden können durch die jeweiligen Gefäſszustände und den dadurch bedingten Aortendruck. Zufolge des instruktiven Versuchs von Grützner, daſs man bei elektrischer Erregung des verlängerten Marks unter Erhöhung des arteriellen Blutdrucks nur dann vermehrte Harnsekretion erhält, wenn vorher die Nierennerven durchtrennt worden sind, wäre die Wirkung der Piqûre der runden Stränge im Sinne der Druckhypothese, welche durch den Nachweis des erhöhten Aortendrucks nach jener Operation besondere Berechtigung erhalten hat, vollständig dahin auszusprechen: Es wird durch jenen Eingriff eine Verengerung der peripheren Gefäſse (ob aller oder nur eines Teils und welches derselben?) unter Erhöhung des Aortendrucks erzeugt, der den Blutstrom nach der Niere mehrt, wobei aber die zur Niere gehenden Nerven keine oder nur schnell vorübergehende Erregungen erfahren. Diese letztere Eigenschaft wird durch die lokale Lage der Einwirkung bedingt sein. — Es kam aber, wie ich glaube, jenen Forschern zugute, daſs ich bekannte, wie es mir nicht hätte gelingen wollen, einen besonderen sekretorischen Nerv nachzuweisen; denn trotz der erkannten Bedeutung des durch Gefäſsverengerung von seiten der Rückenmarksnerven veränderten Aortendrucks für die Nierensekretion hätte es ja doch sein können, daſs dabei auch noch besondere Sekretionsnerven im Spiele waren, wie denn selbst jetzt noch ab und zu diese Meinung auftaucht.[1]) So kommt es auch heute wieder der Druckhypothese zugute, daſs selbst mit den neuen Mitteln, auf die man verfallen kann, sekretorische Nerven nachzuweisen,

1) Oben S. 430.

kein positives Resultat hat erzielt werden können. Ich füge noch die folgenden Bemerkungen bei:

Oben[1]) habe ich in hohem Grade wahrscheinlich gemacht, dafs der nicht durchschnittene Splanchnicus mit einem Teil seiner Bestandteile begünstigend für das Zustandekommen der Piqûrehydrurie wirkt, insofern nach vorgängiger Trennung beider Splanchnici die Piqûre in vielen Fällen schwächer als bei Integrität derselben ausfällt. Dies ist verständlich, wenn man bedenkt, dafs im letzteren Falle das grofse Gebiet der zu den Eingeweidegefäfsen gehenden Nervenzweige bei der Piqûre behufs Verengerung zu Gebote steht.

Trotz der Thatsache, dafs wir bis jetzt keine Sekretionsnerven für die Nierensekretion kennen, wird es doch erlaubt sein, nach einer Verständigung von einem diese Sekretion regelnden Centrum zu sprechen. Dasselbe fällt, wie wir zur Zeit die Sache ansehen, mit dem Hauptgefäfsnervensystem zusammen, welches nach Umfang und Grad seiner Wirkung den Blutstrom durch die Nieren und die davon abhängige Thätigkeit derselben bestimmt. Nach derselben Verständigung kann auch von die Nierensekretion anregenden und hemmenden peripheren Nerven gesprochen werden. Zu den ersteren wären alle die die Körper- und Eingeweidegefäfse verengernden Nerven, zu den letzteren die die Nierengefäfse verengernden Fasern zu zählen. Der Ausdruck hemmend hat dann einen klaren, eindeutigen Sinn.

Ich brauche kaum zu sagen, dafs mit diesen Bemerkungen die Stellung des Nervensystems zur Nierensekretion keineswegs vollständig und erschöpfend ausgesprochen ist. Diese Aufgabe wollte ich auch nicht behandeln; ich wollte nur von den Theorien der Piqûrehydrurie reden. Wer sich der Behandlung jener unterzieht, wird in erster Linie an das Material anknüpfen müssen, welches Sachs[2]), unter Goltz arbeitend, mitgeteilt hat.

5. Zur Erklärung der Hydrurie durch Piqûre wäre noch eine letzte Theorie möglich. Es könnte nämlich angenommen werden, dafs

---

1) S. 429.

2) Sachs, Über den Einflufs des Rückenmarks auf die Harnsekretion. Pflügers Archiv Bd. 25 S. 299.

durch jene Einwirkung neue, unbekannte Stoffe gebildet würden, die nach Art gewisser Diuretica die Wasser ausscheidenden Elemente der Niere direkt anregten, oder auch, dafs die centrale Erregung mittels ihr eigentümlicher Eigenschaften, die wir aber zur Zeit durch die uns bekannten künstlichen Erregungsmittel nicht herzustellen vermöchten, die Sekretion direkt anfache. Für derartige Annahmen haben wir aber zur Zeit keine sichern Anhaltspunkte.

Zu dem Aufsatz von Dr. G. Kelling,

Bd. 44 dieser Zeitschrift, S. 216.

Von

C. A. Ewald, Berlin.

So unerfreulich Prioritätsstreitigkeiten an und für sich und zumal einem früheren Assistenten gegenüber sind, so können die mich betreffenden Ausführungen des Herrn Dr. Kelling in seinem Aufsatz »Über die Spannungszustände der Bauch-, Magen- und Darmwand« (a. a. O.) doch nicht unbeantwortet bleiben.

Herr Kelling erhebt den Anspruch, als der Erste den Inhalt des Magens und den Druck, der auf seiner Wand lastet, mit Hilfe einer einfachen, von ihm bereits 1890 im Princip angegebenen und 1892 ausführlich veröffentlichten Methode, die übrigens nichts anderes wie eine Zusammenstellung bekannter Laboratoriumsapparate ist, gemessen zu haben.

Er sagt, entgegen einer Angabe, die ich in meiner Klinik der Verdauungskrankheiten, 3. Auflage, S. 87, gemacht habe, dahin lautend, daſs er die Versuche seiner Zeit unter meiner Leitung angestellt hätte, »die Idee zu derartigen Volumbestimmungen des Magens rührt von mir (Kelling) her, und ich bin Ewald zu diesem Zweck angegangen. Wenn er neuerdings in der Diskussion (Berl. mediz. Gesellschaft 1902) behauptet hat, daſs er schon vor mir derartige Bestimmungen ausgeführt habe,

so stimmt damit nicht, dafs im Augusta-Hospital die Sache unbekannt war und auch gar nicht geeignete Apparate dazu vorhanden waren, welche ich mir erst selbst verschafft habe.« Dieser Leistung des Herrn Kelling diene das folgende Schreiben des Herrn Dr. Gumlich, der vom April 1889 bis zum 1. April 1891 als erster Assistent am Augusta Hospital thätig war — Dr. Kelling trat als Volontärassistent am 1. April 1891 ein — zur Antwort und zur Richtigstellung der Thatsachen.

Dr. Gumlich schreibt mir auf meine Anfrage:

»Schmargendorf, 21. Januar 03.

»In Erwiderung Ihres mir gestern zugekommenen Schreibens teile ich Ihnen ergebenst mit, dafs es gar keinem Zweifel unterliegt, dafs Sie während meiner Anstellung im Augusta Hospital wiederholt in meiner Gegenwart Messungen zur Bestimmung der Gröfse des Magens (durch Auffangen der Luft im graduierten Cylinder) und zur Bestimmung des Luftdrucks im Magen (mittels Manometers) in der Weise, wie Ihre mir übersandte Figur angibt, gemacht und demonstriert haben.« Die Figur, welche ich meinem Schreiben an Dr. Gumlich beigelegt hatte, war dieselbe, die Dr. Kelling 1892 als seinen Apparat veröffentlicht hat.

Von Herrn Dr. Kellings Existenz und seiner Dissertation (Leipzig, Juli 1890), in der übrigens nur erwähnt wird, dafs man eine Methode, wie die in Rede stehende, anwenden könnte, war mir, als ich diese Messungen zuerst anstellte, nichts bewufst. Als Herr Kelling seinerzeit wünschte, derartige Versuche bei mir vorzunehmen, bin ich, da ich selbst schon in diesem Sinne vorgegangen war, gern bereit gewesen, ihn darin zu unterstützen und die Versuche »unter meiner Leitung machen zu lassen«.

Dafs er damit bei mir nicht weiter gekommen ist, lag nicht an mir, sondern an ihm — ich entliefs ihn vorzeitig und früher als er mit seinen Versuchen fertig war.

Herr Kelling wundert sich, dafs ich erst »zehn Jahre nach Ausbildung seines Verfahrens unvermutet Prioritätsansprüche

erhebe«. Ich will gerne gestehen, dafs ich mich schon 1892 darüber gewundert habe, dafs Herr Dr. Kelling es fertig bekam, meinen Namen und das Augusta Hospital in seiner damaligen Publikation totzuschweigen und dafs ich oft genug privatim auf diese »erfreuliche Art der Dankbarkeit« hingewiesen habe. Für eine besondere Reklamation war mir die Sache aber, ehrlich gestanden, nicht wichtig genug und aus den eingangs erwähnten Gründen unangenehm. Ich würde auch jetzt geschwiegen haben, wenn nicht der Versuch des Herrn Kelling, mich geradezu eines bewufsten Falsums zu zeihen, eine öffentliche Zurückweisung erheischte.

Ob Kelling die Methode nun später weiter ausgearbeitet und seiner Meinung nach vervollkommnet hat, steht hier nicht in Frage«.

Kritik der elastischen Manometer.

Von

Otto Frank.

(Aus dem physiologischen Institut zu München.)

Mit der Herausgabe der folgenden Abhandlung über die Kritik der druck- und volumregistrierenden Instrumente beginne ich die zusammenfassende Veröffentlichung meiner experimentellen und theoretischen Untersuchungen über die Dynamik des Herzmuskels. Seitdem ich 1895[1]) zum ersten Mal eine kurze Skizze entworfen hatte über meine Untersuchungen, deren Ziel war, die Anschauungen über die mechanischen Verhältnisse des Herzmuskels an diejenigen über die allgemeine Muskelmechanik anzugliedern, habe ich in einer Reihe von zerstreuten Abhandlungen über eine gröfsere Anzahl von Verbesserungen des instrumentellen Apparates, über die Möglichkeiten einer übersichtlichen Zusammenfassung der Erscheinungen nach vervollkommneten Prinzipien und über die tatsächlichen Ergebnisse meiner Untersuchungen, die sich den Fortschritten der Methodik und der Betrachtungsweise angeschlossen haben, berichtet.[2])

1) Zeitschr. f. Biol. Bd. 32 S. 370. Zur Dynamik des Herzmuskels.

2) 1. Die Wirkung von Digitalis (Helleboreïn) auf das Herz. Bericht d. morph. Gesellsch. in München 1897, H. 2. 2. Die Grundform des arteriellen Pulses. Zeitschr. f. Biol. Bd. 37 S. 483. 3. Die Arbeit des Herzens und ihre Bestimmung durch den Herzindikator. Bericht d. morph. Ges. in München 1898, H. 3. 4. Einflufs der Häufigkeit des Herzschlages auf den Blutdruck. Zeitschr. f. Biol. Bd. 41 S. 1.

Es sind Gründe der verschiedensten Art, die mich bewegen, über alle meine Untersuchungen auf diesem Gebiete zusammenfassend und möglichst erschöpfend zu berichten. Zunächst solche mehr äufserlicher Natur. Ich konnte die Mitteilungen über meine Untersuchungen nur sehr lückenhaft gestalten, einen gröfseren Teil der Ergebnisse habe ich in Sätzen niedergelegt, die ich nicht weiter durch Vorlegung der experimentellen Daten begründete, ich hatte auch nicht den richtigen Leitfaden gefunden, um die Arbeiten in folgerichtiger Weise aneinander reihen zu können. Die Arbeiten sind wohl deshalb teilweise unbeachtet geblieben, zum Teil falsch aufgefafst worden. Schon aus diesen Gründen hätte sich eine Wiederveröffentlichung unter Mitteilung der sämtlichen experimentellen Daten rechtfertigen lassen.

Zu diesem Schritte wurde ich aber gezwungen, nachdem ich eine Theorie der Dynamik des Herzmuskels aufgestellt hatte[1]), deren Folgerungen selbstverständlich nach den Grundlehren der naturwissenschaftlichen Forschung experimentell geprüft werden müssen. Ich habe absichtlich diese Theorie zu einem Zeitpunkte aufgestellt, in dem ich das experimentelle Material gerade so wie heute noch ganz unvollständig geordnet hatte. Ich wollte sie nicht post festum aufstellen, sie sollte mir selbst als Fingerzeig zur Auffindung neuer Tatsachen dienen. Ich kann auch jetzt noch nicht darüber urteilen, ob sie eine wesentliche Bedeutung für die Erklärung der Erscheinungen besitzt. Es mufs erst der Geltungsbereich derselben festgestellt werden. Aber der Charakter der mathematisch-analytischen Formulierung, die nur strenge, wohl meistenteils prüfbare Folgerungen zuläfst, bürgt dafür, dafs sie nicht zur Zwangsjacke für die weitere Forschung wird, sondern ihr den weitesten Spielraum läfst. Die mathematische Fassung verhindert noch weiter, dafs unsere Theorie nur eine Sammlung von vagen Vergleichen bildet, die an Stelle der klaren Tatsachen gesetzt wäre, ohne dem Prinzip der Ökonomie des Denkens in irgend einer Weise Genüge geleistet zu haben.

---

1) Isometrie und Isotonie des Herzmuskels. Zeitschr. f. Biol. Bd. 41 S. 14.

Ich glaube also wohl, dafs man sich bei der Zusammenfassung der Tatsachen von meiner Theorie leiten lassen kann. Dabei wird man aber die anderen roheren Hilfsmittel: der tabellarischen Zusammenstellung oder geometrischen Betrachtungsweise nicht verschmähen. Ich kann wohl sagen, dafs durch meine früheren Arbeiten die nötigen Vorbereitungen getroffen waren, um ein solches Vorhaben auszuführen.

Nur ein wesentliches Moment war bis jetzt nur ungenügend berücksichtigt worden: die Prüfung der Zuverlässigkeit der von mir zur Aufzeichnung der mechanischen Vorgänge verwendeten Instrumente. Ich beabsichtige, in dieser Abhandlung die allgemeinen Prinzipien einer derartigen Untersuchung zu entwerfen.

Die Haupt-Aufgabe, die wir uns nach den vorhergehenden Erörterungen gestellt haben, läfst sich dahin präzisieren: Die Dynamik des Herzmuskels ist möglichst vollständig zu untersuchen und zu beschreiben, und die gefundenen Tatsachen sind dann mit den Folgerungen der Theorie zu vergleichen.

Die vollständige Beschreibung der Dynamik des Herzmuskels, als Ganzes genommen, besteht, wie ich in den früheren Abhandlungen auseinandergesetzt habe, in einer Feststellung der beiden Gröfsen: Volum und Druck des Herzens in ihrer Abhängigkeit von der Zeit unter den verschiedensten — wir beschränken uns zunächst auf die mechanischen — Bedingungen. In einer späteren Abhandlung werde ich nochmals ausführlich die Begründung der Wahl dieser Variabeln geben.

Zur Feststellung dieser Variabeln habe ich verschiedene Apparate angewendet, die ich zum Teil neu konstruiert habe. Es ist nun von vornherein selbstverständlich, dafs von denselben der zeitliche Ablauf der Erscheinungen ebensowenig wie von irgend anderen Apparaten absolut treu wiedergegeben werden kann. Trotzdem ich bei der Konstruktion dieser Apparate grofse Sorgfalt auf diesen Punkt gelegt habe, eine Sorgfalt, die manchen als übertrieben hätte erscheinen können und in der Tat auch erschienen ist, konnte ich doch das Gefühl der Unsicherheit über die Zuverlässigkeit der von mir mit diesen Apparaten erhaltenen

Aufzeichnungen nicht los werden. Dieses Gefühl war die Hauptveranlassung, dafs ich die ausführliche Veröffentlichung meiner Versuche so lange hinausschob. Ein schwacher Trost bestand für mich darin, dafs ich gewifs nicht sorgenloser als andere bei der Verwertung der experimentellen Ergebnisse verfahren war. Hatte ich doch schon bei den ersten Veröffentlichungen mein Augenmerk auf diese Dinge gelenkt und verschiedentlich auf bedenkliche Erscheinungen aufmerksam gemacht, und schliefslich durch Ersinnen eines experimentellen Verfahrens für eine Kritik der Druckregistriermethoden einen Ausweg zu finden gesucht, um zu richtigen Vorstellungen über den zeitlichen Ablauf des Drucks bei raschen Schwankungen desselben zu gelangen. Aber diese experimentellen Verfahren, wie das von mir veröffentlichte[1], ähnlich wie das von Porter erdachte[2], können nur als Aushilfsmittel gelten, wenn ein anderer Weg zu einer Kritik zu gelangen nicht möglich ist. Diese Verfahren müssen selbst wieder kritisch untersucht werden. Eine absolute Gewähr geben sie auf keinen Fall, abgesehen davon, dafs ihre Anwendung im allgemeinen sehr umständlich ist.

Die Aufgabe, die zu lösen ist, besteht darin, die Gröfse der Abweichungen der Angaben des Registrierinstrumentes von dem wirklichen Verlauf nach allgemeinen Prinzipien ziffermäfsig festzustellen, und wenn diese Abweichungen wesentlich sein sollten, die betreffenden Kurven zu korrigieren. Wir müssen eine auf streng mechanischen Prinzipien aufgebaute Theorie dieser registrierenden Instrumente zu entwerfen suchen.

Der Streit über die Zuverlässigkeit der registrierenden Instrumente ist nicht neu. Schon Helmholtz hat bei seinen Aufzeichnungen der Muskelzuckungen darauf hingewiesen, dafs die aufgezeichneten Kurven von dem tatsächlich stattfindenden Verlauf abweichen müssen, er hat auch eine Andeutung gemacht, wie der richtige Verlauf zu erkennen wäre, wobei man allerdings sagen mufs, dafs seine Bemerkungen, denen auch ich in einer

1) Zeitschr. f. Biol. Bd. 35 S. 479. Ein experimentelles Hilfsmittel für eine Kritik der Kammerdruckkurven.

2) Journal of experimental medicine I, p. 2.

früheren Abhandlung irrigerweise gefolgt bin[1]), nur eine beschränkte Gültigkeit besitzt. Da man aber bei der Diskussion über die Richtigkeit der erhaltenen Kurven, sei es der Muskelzuckungen oder der Druckschwankungen in dem System des Kreislaufs, zu einem entscheidenden Resultat nicht gelangt ist, so hat man sich in den meisten Fällen damit begnügt, ein von irgend einer Autorität empfohlenes Instrument anzuwenden und den Aufzeichnungen dieses Instrumentes nun unbedingten Glauben zu schenken. Man wird wohl behaupten können, dafs diese kritiklose Anwendung der Instrumente gegenüber der vorsichtigen Anwendung derselben, mit der die ersten Forscher auf diesem Gebiete vorgegangen sind, einen gewaltigen Rückschritt bedeutet. Man erinnere sich nur daran, dafs Helmholtz seiner berühmten Abhandlung über die Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung in dem Nerven eine viele Seiten umfassende Prüfung des von ihm angewendeten Apparates vorausgehen liefs, und man wird meine Behauptung bestätigt finden. Dieses Gefühl war auch wohl die Hauptanregung zu der Gründung der Pariser Kommission, welche die Prüfung der physiologischen Instrumente übernehmen soll, ein löblicher Zweck, der aber nicht erfüllt wird, wenn man gewisse Instrumente als vollkommen prämiiert, anderen Instrumenten überhaupt die Daseinsberechtigung abspricht und Regeln entwirft, deren Einhaltung nichts anderes als die Verhinderung der weiteren Ausbildung der wissenschaftlichen Methodik bedeuten.

Sollte die Kommission in diesem Sinne arbeiten, wie es nach dem bis jetzt von ihr veröffentlichten[2]) der Fall zu sein scheint, so würde sie nach meiner Ansicht in denselben Fehler verfallen, der zu der unseligen Verwirrung und Unsicherheit auf diesem Gebiete geführt hat. Ein drastisches Bild dieser Verwirrung gibt die Zusammenstellung von v. Frey in: Das Plateau des Kammerpulses: Du Bois-Reymonds Archiv 1893, S. 2—4. Der Fehler liegt darin, dafs man nicht die Gröfse der Abweichungen eines Registrierinstrumentes festzustellen gesucht hat, sondern ein bestimmtes Instrument als absolut tauglich, was es

1) Hilfsmittel für eine Kritik etc. S. 479.

2) Ich spreche hier nur von den Sätzen über die Registrierapparate.

niemals sein kann, hingestellt und der experimentierenden Menschheit übergeben hat.

Es ist klar, dafs die guten Zertifikate, die den verschiedenen Instrumenten von ihren Autoren erteilt worden sind, nur so lange Anerkennung finden, so lange eben diese Erfinder Autorität genug besitzen, um ihnen Geltung zu verleihen, da eine objektive Würdigung nicht gegeben ist. Man kann es auch nur diesem Gefühl der Unsicherheit dem Mangel einer objektiven Würdigung der Leistungsfähigkeit der Registrierinstrumente entstammend, zuschreiben, dafs solche Arbeiten wie diejenige von Ludmilla Schilina[1]) entstehen können. Nachdem noch vor kurzer Zeit die Anwendung der elastischen Manometer als ein wesentlicher Fortschritt in der Methodik gepriesen worden ist, hält es Ludmilla Schilina für vollständig unbrauchbar zur Aufzeichnung der Blutdruckschwankungen und gibt dem Quecksilbermanometer sogar den Vorzug für Zwecke, für die es noch niemand für tauglich gehalten hat. Welches Gelehrtenforum soll über diese Streitigkeiten entscheiden?

Dafs man kritiklos ein oder das andere Instrument angewendet hat, ist wohl auch darin begründet, dafs man möglichst schnell nach physiologischen Resultaten gestrebt hat, ein Wunsch, der wohl begreiflich ist, dessen Erfüllung aber doch von einer strengen Prüfung der angewendeten Apparate abhängig ist. Ich kann schon jetzt behaupten, dafs dieses Hinweggehen über die sich aufdrängenden Bedenken sich bitter rächen wird und einen grofsen Teil der Literatur des Kreislaufes, die sich mit den feineren Untersuchungen des Ablaufs des Drucks in dem Ventrikel oder den Arterien beschäftigt, wertlos macht. Ferner kann ich schon jetzt sagen, dafs meine Untersuchungen an dem Froschherzen, die natürlich auch zum Teil der soeben ausgesprochene Tadel trifft, nur wenig alteriert werden, da wegen der langsamen Änderung der Variabeln die Anforderungen an die Apparate geringer sind. Doch ist zur Sicherung der Resultate die Untersuchung, über die ich bis jetzt berichten werde, unbedingt nötig. Einige unwesentliche Behauptungen in meinen früheren Arbeiten finden

1) Diese Zeitschrift Bd. 38 S. 433.

ihre tatsächliche Korrektur. Auf alles dies wird noch bei den einzelnen Abhandlungen näher einzugehen sein. Dagegen gilt meine Kritik im verstärkten Maſse der Anwendung des Manometers zur Bestimmung der Kammerdruckschwankungen bei dem Warmblüter.

Auf die Literatur werde ich nur insoweit eingehen, als meine Untersuchung unmittelbar auf ihr fuſst. Ich glaube umsomehr dazu berechtigt zu sein, als bei meiner Untersuchung zum ersten Male der Versuch gemacht wird, die Abweichungen der Aufzeichnungen der druck- und volumregistrierenden Apparate von den wirklichen zeitlichen Veränderungen ziffermäſsig festzustellen. Zugleich wird durch meine Kritik auch die Möglichkeit eröffnet, die längenverzeichnenden und spannungsverzeichnenden myographischen Apparate ähnlich zu behandeln und auch auf diesen Gebieten die Unsicherheit zu beseitigen die bisher geherrscht hat.

So viel mir bekannt ist, hat in der physiologischen Literatur auſser v. Kries[1]), der sich speziell mit der Kritik des Hg-Manometers beschäftigt hat, nur v. Frey[2]) an die grundlegenden Arbeiten von Mach[3]) über die Theorie der Manometer und des Sphygmographen angeknüpft.

Aus mehrfachen Gründen, die aus dem Folgenden ersichtlich sind, behandle ich zunächst das mit inkompressibler Flüssigkeit gefüllte elastische Membran-Manometer. Die einfachste Form, die man ihm geben kann, läſst sich sowohl mathematisch-analytisch behandeln als auch experimentell verwirklichen.

Die Bestimmung der wesentlichen Konstanten dieses Manometers, der Elastizität der Membran, der bewegten Masse und des Reibungskoeffizienten und der Vergleich der so gewonnenen

---

1) Über die Bestimmungen des Mitteldrucks durch das Hg-Manometer. du Bois-Reymonds Archiv 1878, S. 419.

2) Die Ermittelung absoluter Werte für die Leistung von Pulsschreibern. du Bois-Reymonds Archiv 1893, S. 17.

3) E. Mach, Theorie der Pulswellenzeichner. Sitzungsber. d. Kaiserl. Akad. d. Wiss. Bd. 46 S. 157. Über die Gesetze des Mitschwingens. Bd. 47 S. 33. Die Analysen von Mach basieren wieder auf den mir nur durch Referat bekannt gewordenen Arbeiten von Seebeck.

Gröfsen mit den auf anderen Wegen abgeleiteten wird den Hauptabschnitt meiner Abhandlung bilden.

Dann wird eine ähnliche Betrachtung für ein Manometer durchgeführt, bei dem die Übertragung der Drucke durch Luft stattfindet.

Ich gehe dann von der einfachsten Form des Manometers zu einer solchen über, bei der die Registrierung der Bewegung durch einen Lichtstrahl erfolgt, der durch einen mit der Membran verbundenen Spiegel in Bewegung versetzt wird.

Ferner ziehe ich das gewöhnliche Hebelmanometer in den Kreis meiner Betrachtungen, um daran anschliefsend einige Bemerkungen über den Sphygmographen, die volumregistrierenden Apparate und die myographischen Methoden zu machen.

Die Theorie der Dämpfung der Manometerbewegung behandle ich in einem besonderen Kapitel.

Zum Schlufs erläutere ich die einfachen Methoden, nach denen man mit den Konstanten, deren Bestimmung in den früheren Abschnitten gelehrt worden ist, die Korrektur der registrierten Kurven vornehmen kann.

Die Theorie des mit Flüssigkeit gefüllten elastischen Manometers.

Um für die Theorie möglichst einfache Verhältnisse zu erhalten, erdachte ich mir ein ganz einfaches Manometer, das sich leicht konstruieren läfst. Es besteht einzig und allein aus einer Kapsel, die mit einer elastischen Membran überspannt ist. Ich benutzte bei meinen Versuchen, die ich später beschreiben will, als elastische Membranen Gummimembranen deshalb, weil sich mit solchen die gröfsten Variationen in den Versuchsbedingungen vornehmen lassen.

Dies soll die wesentliche Einrichtung des Manometers sein. Denken wir uns nun, wir hätten eine Vorrichtung, die ohne die Masse der wesentlichen bewegten Teile oder die Reibung derselben zu verändern, ihre Bewegungen zu registrieren erlaubte, so ist unser Manometer, das wir theoretisch und experimentell behandeln wollen, fertig. Die Kapsel kann durch Röhren, in denen sich Flüssigkeit oder Luft befindet, mit dem Ort, an dem

der Druck gemessen werden soll, verbunden werden. Unsere Aufgabe ist es, nach den Grundsätzen der Mechanik eine Differentialgleichung für die Bewegungen dieser Membran unter der Einwirkung von zeitlich wechselnden Druckkräften aufzustellen. Zu diesem Zweck müssen wir natürlich eine Reihe von Vereinfachungen unseres Apparates, durch welche die Behandlung unseres mathematischen Problems ermöglicht wird, ersinnen und müssen dann zusehen, ob die aus den Gleichungen gezogenen Folgerungen mit den an dem Manometer angestellten Experimenten genügend übereinstimmen.

Ich ging nur mit geringen Hoffnungen an die Behandlung des Problems. War doch seit der Aufstellung der allgemeinen mathematischen Beziehungen, die allein zur Behandlung einer derartigen Aufgabe dienlich sein können, schon so lange Zeit vergangen, dafs man hätte meinen sollen, wenn das Problem überhaupt lösbar wäre, müfste dies schon geschehen sein. Die Ergebnisse der Untersuchungen von v. Kries über die Leistungen des Quecksilbermanometers waren nicht gerade ermutigend. Allerdings konnte man von vornherein sagen, dafs die Verhältnisse bei dem elastischen Manometer für eine mathematische Behandlung günstiger lagen. Der wesentliche Unterschied liegt in der viel kleineren Flüssigkeitsbewegung, die eher der linearen Gleichung, die aufzustellen war, entsprechen konnte. Aber wie waren die bewegten verwickelt gestalteten Massen der Membran und der Flüssigkeit bei den verwickelten Röhrenverbindungen, wie die Reibung für eine exakte Behandlung zu definieren?

Den Schlüssel zu der Lösung gaben mir Schwingungsbeobachtungen, die ich mit dem einfachen soeben geschilderten Manometer anstellte. Ich konnte schon bei der blofsen Beobachtung mit dem Auge konstatieren, dafs die Länge der Flüssigkeitssäule von aufserordentlichem Einflufs auf die Schwingungsdauer war. Schon $^1/_2$ cm lange Säulen beeinflufsten die Schwingungszeit. Hier war eine bestimmte Abhängigkeit gegeben, die zunächst zu untersuchen war. Der Versuch lenkte meine Hauptaufmerksamkeit auf die in der Röhre bewegte Flüssigkeit, der ich vor

1) a. a. O.

diesem Versuch einen so bedeutenden Einfluſs nicht zuzuschreiben geneigt war, und bestimmte mich zunächst, das mit Flüssigkeit gefüllte Manometer theoretisch und experimentell zu behandeln.

Es wird sich weiterhin zeigen, daſs die Untersuchung des mit Luft gefüllten Manometers tatsächlich viel schwieriger ist, jedoch auch bis zu einem gewissen Grad zu einer befriedigenden Lösung führen kann.

So kam ich auf den Gedanken, von der Masse der Membran ganz abzusehen und die vereinfachende Annahme zu machen, das Manometer bestünde nur aus dieser Flüssigkeitssäule, die teils unter dem Einfluſs der elastischen Kraft der Membran einer- und der bewegenden Kraft, deren Gröſse von dem Manometer verzeichnet werden soll, anderseits steht. Ihre Masse sei $= M$ Nimmt man noch an, daſs die elastische Kraft, die auf die Flüssigkeitssäule wirkt, im linearen Verhältnis E zu den Exkursionen X (gegenüber der Gleichgewichtslage) der Flüssigkeitsmasse steht, und fügt zu diesen Kräften noch eine der bewegten Flüssigkeit proportionale dämpfende Kraft oder einen Reibungswiderstand mit K als Reibungskoeffizienten und die Trägheitskraft hinzu, so kommt man auf die Form der Differentialgleichung, die Mach für den Sphygmographen[1]) aufgestellt und später v. Kries entsprechend modifiziert auf die Theorie des Quecksilbermanometers angewendet hat. Es ist die Differentialgleichung, der erzwungenen Schwingungen:

$$M\frac{d^2x}{dt^2} = -Ex - K\frac{dx}{dt} + \sum_{n=0}^{n=\infty}\{A\cos(nt+\tau)\} \quad . \; . \; \text{(Gl. 1)}$$

In der Gleichung ist die veränderliche, zu registrierende Kraft, die proportional dem Querschnitt der Flüssigkeit und dem hydrostatischen Druck ist, in Form einer Fourierschen Reihe als Funktion der Zeit: φ (t) angeschrieben, was ohne Bedenken geschehen kann, da es sich bei den von uns zu untersuchenden Fällen um eine periodische Funktion handelt.

Das allgemeine Intregal dieser Gleichung lautet:

$$x = \sum_{n=0}^{n=\infty}\{\alpha\sin(nt+\vartheta)\} + e^{-\frac{K}{2M}t}\{\mathfrak{A}\sin rt + \mathfrak{B}\cos rt\} \quad \text{(Gl. 2)}$$

1) a. a. O.

wobei: $\alpha = \frac{A}{M\sqrt{\left(\frac{E}{M} - n^2\right)^2 + \frac{K^2 \cdot n^2}{M^2}}}$, $\frac{E - Mn^2}{K \cdot n} = \tan(\vartheta - \tau)$

$$\text{und } r = \frac{1}{M}\sqrt{4EM - K^2}.$$

$\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$ sind die den Anfangszustand bestimmenden Integrationskonstanten.

Die registrierte Kraft tritt hier wieder in der Form einer Fourierschen Reihe auf, aber mit anderen Koeffizienten. Dazu ist noch ein Glied hinzugefügt, das die sogenannten Eigenschwingungen der Flüssigkeitssäule unter dem Einfluſs der elastischen und der Dämpfungskraft repräsentiert. Ein groſser Fehler, der sich in den Arbeiten und Untersuchungen über die Leistungen der Registrierinstrumente[1]) findet, liegt darin begründet, daſs man gemeint hat, nur in dem Auftreten der Eigenschwingungen, von denen man angenommen hat, daſs sie auf irgend eine Weise leicht zu erkennen seien, sei die Deformation durch die Registrierapparate bedingt, während doch die ganze Funktion des Verlaufs — in der Gleichung in einer Fourier'schen Reihe dargestellt — verändert ist. Man hat eben bei der Diskussion das erste Glied des allgemeinen Integrals nicht beachtet oder nicht genügend untersucht. Es muſs hier bemerkt werden, daſs sowohl die Masse als auch der Reibungskoeffizient zur Veränderung der Koefficienten der Glieder der Fourierschen Reihe beitragen, also beide zur Deformation des ganzeu Verlaufs der registrierten Kurve. Beide Konstanten müssen also zur Korrektur der erhaltenen Kurven herangezogen werden. Sie sind im allgemeinen gleich wichtig. Weiter will ich jetzt nicht in die Diskussion dieser Gleichungen eingehen. Auf die Beziehungen, die für uns von Wert sind, komme ich weiter unten zurück. Das, was von allgemeiner Bedeutung ist, wird man in den Arbeiten von Mach und in der Abhandlung von v. Frey über die Ermittelung absoluter Werte für die Leistung von Pulsschreibern S. 17—27 finden.

1) Selbstverständlich zielt meine Bemerkung nicht auf die Arbeiten von Mach, v. Kries und v. Frey.

Ist nun die aufgestellte Gleichung richtig, d. h. kann man, was ja die Grundlage für die Aufstellung dieser Gleichung gegeben hat, die Bewegung der in Frage kommenden Massen mit der Bewegung eines Massenpunktes identifizieren, so braucht man nur die Gröfse der Masse und die Gröfse des Reibungskoeffizienten zu bestimmen, um über das Verhältnis der registrierten zu den wirklich stattfindenden Druckschwankungen rechnerisch unterrichtet zu sein. Es würde auch nichts verschlagen, wenn wir statt eines konstanten Elastizitätsfaktors, wie ich die Gröfse E bezeichnen will, eine Funktion des Drucks erhalten würden oder statt des konstanten Reibungskoeffizienten eine Funktion der Geschwindigkeit, der dx/dt, der Flüssigkeitsbewegung. Dies sind unwesentliche Punkte, die sich, wie ich unten zeigen werde, leicht erledigen lassen.

Ich habe gesagt, es ist nur die Bestimmung der Koeffizienten oder der Masse oder der Reibung notwendig und unser Ziel ist erreicht. Aber hier beginnen die grofsen Schwierigkeiten. Es ist auch bis jetzt noch nicht versucht worden, sie zu überwinden. Ich finde gerade das Schwergewicht meiner Untersuchung in der Feststellung dieser Konstanten, d. h. in der praktischen Ausbeutung der durch die Gleichung gegebenen Anregungen.

Ich kann die Bemerkung nicht unterdrücken, dafs ich mich hierbei nicht ganz in Übereinstimmung mit dem grofsen Forscher E. Mach weifs. Er stellt Experimente mit einer sphygmographenähnlichen Vorrichtung an, aus denen hervorgeht, dafs die allgemeinen Prinzipien der Gleichung richtig sind.[1] Er bricht dann mit den Experimenten ab und sagt, dafs es nicht »mehr als ein untergeordnetes Interesse hätte, Sätzen der theoretischen Mechanik auf experimentellem Wege nachzugehen.« Wenn man auch an diesen nicht zweifelt, so ist es doch fraglich, ob in dem speziellen Fall die Vereinfachungen, die zur Aufstellung der Gleichung vorgenommen worden sind, erlaubt waren, und dies kann nur durch das Experiment erwiesen werden. Man denke

1) S. Sitzungsber. der math.-naturwissensch. Klasse der Wiener Akad. Bd. 47 S. 45. Meine Bemerkung soll wesentlich als Entschuldigung für den experimentellen Teil meiner Untersuchung dienen.

nur an die grofsen Unsicherheit, welche die Behandlung der Reibungskräfte besitzt. Quantitativ hat ja auch Mach bei seinem Apparat die Erscheinungen nicht verfolgt, was natürlich von der gröfsten Bedeutung für die Beurteilung der Leistung eines Registrierapparates ist. Die geringe Feinheit seiner registrierten Kurven hätte wohl auch ein näheres Eingehen nicht erlaubt.[1])

Ein Mittel zur Feststellung der beiden wesentlichen Konstanten der Gleichung bietet uns die Untersuchung der Erscheinungen, die in der mathematischen Sprache unserer Gleichung einer Gleichsetzung der einwirkenden Kraft $\varphi = 0$ entsprechen, der Untersuchung **der dann entstehenden gedämpften harmonischen Schwingungen.** Aus diesen Schwingungsbeobachtungen können wir die Gröfse der Konstanten ableiten. Mit der Ausarbeitung einer Methode, auf diesem Wege die Konstanten experimentell abzuleiten, habe ich mich aber nicht begnügt, sondern ich habe darnach getrachtet, die aus den experimentellen Beobachtungen der Schwingungen erhaltenen Ergebnisse mit den aus der Diskussion der vereinfachten Gleichung ($\varphi = 0$) folgenden zu vergleichen, und das Experiment durch die Rechnung zu prüfen.

Zunächst durfte man die Erwartungen nicht sehr hoch spannen. Es war auch nach früheren Erfahrungen (besonders von v. Kries) nur eine Übereinstimmung der Gröfsenordnung der auf den verschiedenen Wegen gefundenen Gröfsen zu hoffen. Es stellte sich jedoch zu meiner freudigen Überraschung heraus, dafs die Übereinstimmung von Theorie und Experiment viel weiter geht. Die Sicherheit der ferneren Untersuchungen auf dem von mir betretenen Wege ist dadurch aufserordentlich erhöht.

Zu den Schwingungsversuchen benutzte ich einen besonderen Apparat, den ich jetzt beschreiben werde.

Der zu den Schwingungsversuchen gebrauchte Apparat.

Die Vorrichtung besteht im wesentlichen aus einem Glasballon B, der mit Luft gefüllt ist. Die Luft in ihm kann durch eine an T-Hahn 1 angesetzte Spritze unter verschiedenen Druck

1) S. übrigens die Bemerkung von E. Mach (Ende d. S. 45).

gesetzt werden. Die Dimensionen des Ballons sind so bemessen, dafs durch das Abfliefsen des geringen Volums Luft, das zur Erhöhung der Spannung in das elastische Manometer durch den *T*-Hahn 2 und die Röhre *R* übertritt, der Druck der Luft in dem Gefäfse nicht verändert wird. Der Inhalt des Gefäfses ist ca. 200 ccm. Durch den Arm *II* des *T*-Hahns 2 kann das elastische Manometer mit der äufseren Luft in Verbindung gebracht werden. An den zweiten Arm des *T*-Hahns 1 ist ein Hg-Manometer angesetzt, das zur Messung des in dem

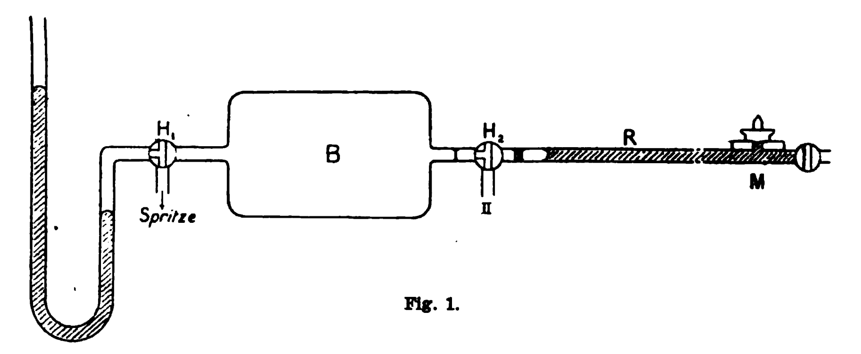


Fig. 1.

Luftraum *B* herrschenden Drucks, zugleich aber auch zur Kalibrierung des elastischen Manometers dient.

Das elastische Manometer besteht aus einem *T*-förmig durchbohrten Metallstück der eine (in der Figur horizontale) Arm des *T* dient zur Verbindung des Manometers mit dem Ort an dem der Druck gemessen werden soll, der andere horizontale Arm kann durch einen Hahn verschlossen werden. Der dritte senkrechte Arm des *T* führt zu der eigentlichen Manometerkapsel. Sie wird auf das Metallstück aufgeschraubt und durch Leder dicht mit ihm verbunden. Diese Vorrichtung, die an allen von mir gebrauchten Manometern sich befindet, erlaubt die Anwendung von Manometerkapseln der verschiedensten Weiten bis zu der Weite der gewöhnlichen Marey schen Kapseln hinauf. Die speziell von mir gebrauchte diente sonst als Marey sche Kapsel zur Aufschreibung der Volumschwankungen des Froschherzens (bei dem Herz-Indikator).

Auf diesen Kapseln können die Membranen in der verschiedensten Weise befestigt werden. Entweder werden sie aufgebunden wie in Fig. 1 oder zwischen zwei Metallringen eingespannt (ähnlich wie bei der Befestigung der Gummimembranen bei den Hürthleschen Gummimanometers). Über die Vorzüge und Mängel der beiden Befestigungsarten werde ich mich unten aussprechen. (S. Fig. 2.)

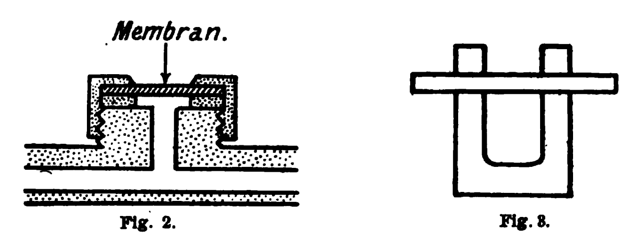


Fig. 2. Fig. 3.

Auf der Membran ist ein Stift aufgeklebt (mit dem Gummi, der zur Reparatur der Fahrrad-Gummistreifen gebraucht wird). Die Bewegungen des Stiftes wurden dann auf einen durch ein Uhrwerk bewegten Film optisch projiziert. Der Stift war so leicht wie möglich gehalten. Ich benutzte zweierlei Formen. Die eine war ein kleiner abgeschrägter Cylinder aus Hartgummi, bei der zweiten projizierte ich nicht die Schneide des Cylinders, sondern ich steckte quer durch einen tiefen Einschnitt desselben einen sehr feinen Platindraht (s. Fig. 3) und entwarf dessen Bild auf die photographische Platte. Diese letztere Form sollte den Zweck haben, bei der Projektion den gröſsten Teil des Gesichtsfeldes frei zu lassen, damit noch die Aufzeichnung anderer Registrierinstrumente hier stattfinden konnte.

Ich will diese einfachste Form eines elastischen Membranmanometers von jetzt ab als Stiftmanometer bezeichnen. Dasselbe Prinzip habe ich schon bei der Konstruktion meines Differentialmanometers benutzt.[1])

Die Aufnahmen bewerkstelligte ich durch meine Vorrichtung, die ich vor kurzem beschrieben habe.[2])

1) Die Benutzung des Prinzips der Pitotschen Röhren zur Bestimmung der Blutgeschwindigkeit. Zeitschr. f. Biol. Bd. 37 S. 1.

2) Zeitschr. f. Biol. Bd. 41.

Der Grundkörper des Manometers war fest auf dem Objekttisch eines Zeifschen Mikroskops befestigt. Er gestattet eine Drehung des Manometers, so dafs man die Achse desselben genau mit dem Spalt des photographischen Aufnahmeapparates zusammenfallen lassen kann, aufserdem kleine Verschiebungen, die den Stift in die Mitte des Gesichtsfeldes zu bringen haben. Zur Beleuchtung verwendete ich eine 8 Amp.-Bogenlampe. Projiziert wurde entweder mit Zeifs Apochrom. 16 mm oder mit dem Planar 20 mm und dabei eine Vergröfserung von 30—50 erzielt. Im übrigen war die Einrichtung des Projektionsapparates die in der zitierten Abhandlung geschilderte. Zur Bewegung des Films benutzte ich den dort beschriebenen Apparat, der die Einführung der Film und die kontinuierliche Beobachtung der zu registrierenden Bewegungen während der photographischen Aufnahme in dem Tageslicht gestattet. Er hat mir vorzügliche Dienste geleistet. Ich habe, seitdem ich ihn in der zitierten Abhandlung geschildert habe, noch eine wesentliche Verbesserung dadurch vorgenommen, dafs ich die Trommel durch einen 1/30 p. s. Elektromotor bewegen liefs. Es war so möglich, das Papier mit gröfserer Spannung sich auf- und abwickeln zu lassen und aufserdem noch durch eine besondere Pressrolle an die Oberfläche der Trommel anzupressen, was die Sicherheit der Bewegung des Films aufserordentlich erhöhte. Das Uhrwerk-Kymographium war zu schwach gegenüber derartigen Bewegungshindernissen. Die Leistungen dieses Apparates kann ich wohl dadurch am besten schildern, dafs ich mitteile, dafs auf den 50—100 m Film, die ich bis jetzt belichtet habe, keine Fehlaufnahme sich befindet.[1] Ein Schleier, der durch falsches Licht bei dem Einsetzen oder Herausnehmen des Films in die Camera entstanden wäre, war niemals zu bemerken. Die Geschwindigkeit der Trommel, die jetzt bei dem Kymographium bis zu 20 cm/Sek. gesteigert werden kann, betrug meistenteils 6 cm und darunter. Eine genaue Analyse des ganzen Verlaufs der erhaltenen Kurven, die für manche Zwecke nützlich gewesen wäre, konnte nur bei den

1) Neuerdings lasse ich den Anfang und das Ende des Films elektrisch signalisieren.

stark gedämpften Schwingungen vorgenommen werden. Die rascher verlaufenden Kurven hätten eine noch gröfsere Geschwindigkeit verlangt.[1])

Die Zeitregistrierung wurde in doppelter Weise bewerkstelligt. Einmal wurden gröfsere Zeitabschnitte — Sekunden — dadurch markiert, dafs ich den Gang der Lichtstrahlen und zwar ganz nahe dem Stift des Manometers, periodisch in Intervallen von Sekunden durch die Bewegungen eines an einem Markiermagneten angebrachten Hebels unterbrechen liefs.

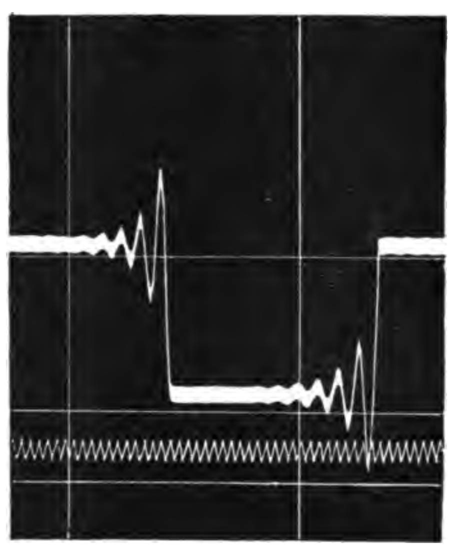


Fig. 4.

Die Bewegungen des Markiermagneten wurden durch eine Baltzarsche Uhr ausgelöst. Durch die Unterbrechungen des Lichtstrahls werden auf dem Film in dem photographischen Bilde helle Linien erzeugt, die der Ordinatenrichtung parallel laufen.[2]) Zu gleicher Zeit klebte ich vor den Spalt des Aufnahmeapparates in verschiedenen

1) Ich bemerke hier, dafs ich im Begriffe bin, für solche Zwecke das Blixsche (oder ein ähnliches) Myographium umzukonstruieren. Ich werde zu diesem Zwecke die beiden Rollen Film, auf die der Film aufgewickelt ist, in das Innere der Trommel verlegen. Der Film wird dann durch einen Schlitz über die Oberfläche der Trommel gespannt, und nach jeder Umdrehung der Trommel durch eine aufserhalb des Schutzkastens eingreifende Handhabe um einen Trommelumfang weitergedreht. So wird es möglich sein, dafs, ohne dafs irgend ein wesentliches Bewegungshindernis für die lebendige Kraft der treibenden Feder auftritt, die Aufnahmen in dem Tageslicht vorgenommen werden können. Die Trommel des Myographiums stellt dann eigentlich eine besonders modifizierte Eastmansche Rollkassette dar.

2) Diese Art der Zeitmarkierung ist der von Garten angewendeten ähnlich, s. S. Garten, Über rhythmische, elektrische Vorgänge im quergestreiften Skelettmuskel. Kgl. sächs. Akad. d. Wiss., XXVI., 1901. — Ich

Abständen Haare, so dafs eine gewisse Anzahl von Abszissen auf dem Kurvenbilde verzeichnet wurde, was unbedingt wegen der wenn auch geringen Hebungen und Senkungen des Films nötig ist, wenn eine Eichung der erhaltenen Curven vorgenommen werden soll. Diese Eichung führte ich bei allen meinen Aufnahmen durch.

Die zweite Art der Zeitregistrierung, die ich noch anwendete, und die mir dazu diente, kleine Unregelmäfsigkeiten in dem Gang

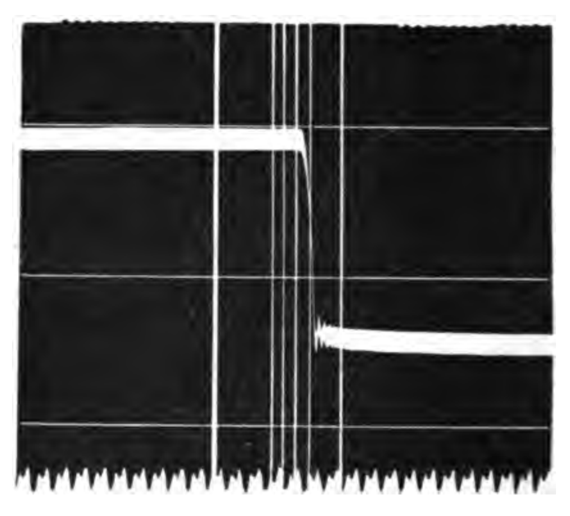


Fig. 5.

der Trommel zu bemerken oder eventuell durch Messungen auszugleichen, bestand darin, dafs ich vor den Spalt des Aufnahmeapparate einen an einem Pfeilschen Magneten oder einer Mareyschen Kapsel angebrachten Hebel in ca. $^1/_{20}$ Sekunden schwingen liefs. Die Schwingungen wurden durch einen Bernsteinschen Unterbrecher erzeugt. Ich gebe die ausführliche Schilderung dieser Vorrichtungen, damit man die Kurvenbilder, die ich hier abbilden lasse, verstehen, dann dafs man sich eine Vorstellung von dem Grad der Genauigkeit meiner Aufnahmen machen kann und zum Schlufs, damit man sieht, dafs mit dem von mir konstruierten

habe sie übrigens, ohne sie zu publizieren, schon bei meinen ersten Versuchen über die Messung der Blutgeschwindigkeit in der Aorta, angeregt durch meine ganz ähnliche Methode, die Zeit bei den Kurven des Herzindikators zu registrieren, verwendet.

Apparat fast ebenso bequem gearbeitet werden kann wie bei den gewöhnlichen Kymographiumaufnahmen auf berufstem Papier. Wenn ich noch hinzufüge, dafs ich noch gleichzeitig auf den Films die Bewegungen eines Spiegelmanometers — durch eine besondere feststehende Spiegelvorrichtung auf den Spalt entworfen — aufnehmen konnte, so wird wohl am deutlichsten die Mannigfaltigkeit der Anwendungen des Apparates charakterisiert. Die sämtlichen elektrischen Ströme, die bei der Bewegung des Kymographiums der Markiermagneten etc. zur Verwendung kamen, entnahm ich der städtischen Leitung. Eine Schalttafel, über deren Konstruktion ich demnächst berichten werde, vermittelte die Herstellung der notwendigen niederen Spannung für diese Ströme. Alle Ströme wurden zu gleicher Zeit mit der Öffnung des in der zitierten Abhandlung [1]) geschilderten Spaltverschlusses durch den Schlufs eines in die Hauptstromleitung eingeschalteten Schlüssels erregt.

Allgemeiner Gang der Versuche.

Die Versuche gestalteten sich nun im allgemeinen folgendermafsen: Der *T*-Hahn 2 wurde zunächst so gestellt, dafs das Manometer in Kommunikation mit der Atmosphäre und das Reservoir abgeschlossen blieb. Dann wurde in dem Reservoir ein geeigneter Druck, in maximo bis zu 25 cm Hg durch das Herabdrücken des Spritzenkolbens erzeugt. Das Luftreservoir wurde dann abgeschlossen, nachdem der Druck durch das Quecksilbermanometer gemessen worden war. Dann wurde der *T*-Hahn 2 so schnell als möglich so gedreht, dafs das Reservoir in Verbindung mit dem Manometer kam. Es wurden dadurch Schwingungen der Membran und der in der Röhre *R* befindlichen Flüssigkeit um eine neue Gleichgewichtslage, die dem in dem Reservoir herrschenden Drucke entsprach, erzeugt. Nachdem die Schwingungen erloschen waren, wurde das Manometer wieder in Verbindung mit der atmosphärischen Luft gebracht und durch die plötzliche Verbindung wurden wieder neue Schwingungen um die Gleichgewichtslage des Drucks 0 (Atmosphärendruck) erzeugt.

1) Zeitschr. f. Biol.

Da es sich für uns darum handelte, die Abhänigigkeit der Schwingungen von der Flüssigkeitsmasse des Manometers, seiner Elastizität und der Reibung in dem Manometer zu beobachten, so konnten wir den Druck nur auf diese Weise erzeugen und nicht etwa das Manometer mit einem Flüssigkeitsressrvoir, in dem der betreffende Druck hergestellt wurde, verbinden. Wir würden auf diese Weise nicht kontrollierbare Flüssigkeitsmassen zur Wirkung kommen lassen. Ich lege auf diesen Punkt ein besonderes Gewicht. Die Flüssigkeiten in dem Manometer und in den horizontal gelagerten Röhrenverbindungen drangen niemals bis zu dem Lumen des *T*-Hahns 2 bei den Versuchen vor. Dafs die Luftverbindung durch die Massen der Luft oder durch die verlangsamte Übertragung des Drucks bis zu dem Anfang der Flüssigkeit ohne Einflufs auf die Schwingungen ist, werde ich durch besondere Versuche erweisen.

Man kann aber gegen diese Versuchsanordnung noch einwenden, dafs die Schnelligkeit dadurch, dafs während der Öffnung des *T*-Hahns 2 die Reibungsverhältnisse nicht constant bleiben, sondern die Reibung der wesentlichen Teile des Manometers, insbesondere der Flüssigkeit durch die von der Öffnung des Hahns abhängige Luftreibung in nicht kontrollierbarer Weise verändert wird. So wäre die Schnelligkeit, mit welcher der Hahn 2 geöffnet wird, von wesentlichem Einflufs auf den Ablauf der Schwingungen. Um diesem Einwand zu begegnen, dessen Bedeutung ich selbst bei dem Beginn der Versuche überschätzte, registrierte ich die Geschwindigkeit, mit der die Hahndrehung erfolgte, auf eine sehr einfache Weise. Ich befestigte an dem Griff des Hahns eine Pappscheibe, welche die Form eines Viertelkreises hatte. In den Rand dieser Scheibe schnitt ich Zähne in etwas gleicher Entfernung voneinander ein. Den Hahn befestigte ich so, dafs der Rand der Scheibe ganz nahe an dem Membranstift in dem Gesichtsfeld des Mikroskops sich befand. Die Röhre *R* mufste zu dem Zweck gebogen werden. Bei den Bewegungen des Hahns wurden die Lichtstrahlen wie bei der vorher geschilderten Sekundenmarkierung unterbrochen, und es bildeten sich Streifen (s. Fig. 5) auf dem Film ab, deren Entfernung auf dem bewegten Film ein

Mafs für die Geschwindigkeit waren, mit der der Hahn gedreht wurde, während sie selbst Marken für die einzelnen Hahnstellungen in den betreffenden Zeitmomenten darstellten. Die Reibung der Luft bei den verschiedenen Hahnstellungen konnte dann auf anderem Wege als durch die Schwingungsversuche ermittelt werden und so eventuell in Rechnung gezogen werden. Das war anfangs mein Plan bei der Konstruktion dieser Vorrichtung, und den letzteren Zweck wird sie auch noch zu erfüllen haben, wenn man an die genaue Analyse des ganzen Verlaufs der Schwingungskurve — hier speziell des Anfangsteils — geht, was ich bei der in dieser Abhandlung berichteten Untersuchung, wie schon oben bemerkt, nicht ausgeführt habe (s. S. 461).

Für unsere jetzige Untersuchung war es nur nötig zu ermitteln, dafs die Öffnung des Hahns im allgemeinen so rasch erfolgt, dafs die bei den engsten Hahnstellungen erzeugte Luftdämpfung keinen wesentlichen Einflufs auf den Ablauf der Schwingungen ausübt. Bei den rascheren Hahndrehungen war der Hahn im allgemeinen in $^1/_{35}$—$^1/_{40}$'' um $^1/_9$ seiner vollen Öffnung gedreht. Nur innerhalb dieses Bezirks der Öffnung des Hahns wird, wie die späteren Versuche ergeben haben, ein wesentlich dämpfender Einflufs bemerkbar. Die Zeit von ca. $^1/_{35}$'' wird im allgemeinen zum Durchlaufen des ersten Anstiegs verbraucht, zu dem Weg 0—1 unserer Bezeichnung. Der Einflufs der engen Hahnstellungen macht sich also schon nicht mehr bei der ersten S c h w i n g u n g geltend. Für die Feststellung der M a s s e n - K o n s t a n t e ist die Erörterung über diesen Punkt überhaupt gegenstandlos, da selbst stärkere Dämpfungen einen nur unbeträchtlichen Einflufs auf diese Feststellung haben (s. S. 583). Es hat sich aber sogar herausgestellt, dafs bei absichtlich verlangsamten Hahndrehungen auch die Feststellung der D ä m p f u n g s k o n s t a n t e nicht wesentlich alteriert wird. Die bei den langsamer erfolgenden Hahndrehungen aufgeschriebenen Kurven konnte man auch noch dadurch eliminieren, dafs von den unter denselben Bedingungen wiederholt vielfältig angestellten Schwingungsversuchen nur derjenige mit dem gröfsten ersten Ausschlag (0—1) (s. Fig. 6) benutzt wurde.

Die Messung der Kurven geschah in der Weise, dafs ich geeignete Stücke des Films auf grofse Objektträger aufklebte und mikroskopisch unter Benutzung des grofsen Zeifsschen Kreuztisches und eines Strichkreuz-Okulars die im allgemeinen streng senkrecht aufeinander verlaufenden Abszissen- und Ordinatenlängen der Kurven ausmafs. Befürchtungen wegen der allenfallsigen durch das öftere Baden der Papierfilms, in den Entwicklungs- und Fixierungsbädern etc. hervorgerufenen Verzerrungen braucht man nicht zu hegen. Das oben geschilderte auf den Filmen erzeugte Abszissen- und Ordinatennetz schützt vor durch etwaige Verzerrungen bedingten Messungsfehlern. Nach meinen Erfahrungen sind überhaupt die Verzerrungen bei geeigneter Behandlung der Filme nur von sehr geringem Betrag.

Theorie der Schwingungen des elastischen Manometers.

Auf die in dem vorhergehenden Kapitel geschilderte Weise gerät die Membran (und die Flüssigkeit etc.) in Schwingungen um eine neue Gleichgewichtslage. Nach einer gewissen Zeit ist, so kann man nach unseren bisherigen Darlegungen annehmen, und diese Annahme wird als noch richtig erwiesen werden, die Kraft, welche die Schwingungen ausgelöst hat, konstant geworden, die neue Gleichgewichtslage ist tatsächlich erreicht worden. Die Schwingungen werden von diesem Moment ab nur noch durch die lebendige Kraft der schwingenden Masse unterhalten, die nach und nach durch die Arbeit der Reibungskräfte verbraucht wird. Wir können nun auch ohne weitere mathematische Entwicklung sehen, dafs, wenn die Kraft konstant geworden ist, die Schwingungen nicht mehr von ihr beeinflufst werden, abgesehen eben von der Schaffung einer neuen Gleichgewichtslage. Wir könnten sie daher in der Gleichung, welche die Schwingungen darstellen soll von vornherein gleich 0 setzen. Aus besonderen Gründen, über die ich bald sprechen will, werde ich jedoch ein konstantes Glied in die Differentialgleichung einsetzen und durch die Entwicklung zeigen, dafs tatsächlich ein solches Glied keinen Einflufs auf die Schwingungen besitzt.

Die Differentialgleichung für die Bewegung lautet nunmehr so:

$$M \frac{d^2 x}{d t^2} = -E x - K \frac{d x}{d t} - P_0 \quad . \quad . \quad . \quad \text{(Gl. 3)}$$

P_0 würde nach der Festsetzung unserer Gleichung, wenn $+x$ nach aufwärts gerichtet ist, nach abwärts wirken, würde also z. B. die Richtung der Schwerkraft haben, wenn Stift oder Hebel des Manometers aufwärts gerichtet sind.

Das allgemeine Integral lautet:

$$x = \frac{v_0}{\gamma'} e^{-\frac{K}{2M} \cdot t} \cdot \sin \gamma' t - \frac{P_0}{E} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{(Gl. 4)}$$

worin v_0 die Geschwindigkeit bedeutet, mit der sich der Massenpunkt zur Zeit $t = 0$ durch den Anfang $x = 0$ bewegt.

γ' ist in dem Integral $= \sqrt{\frac{E}{M} - \frac{K^2}{4 M^2}}$.

Die Schwingungsdauer (Dauer einer vollen Schwingung berechnet sich zu: $T = \frac{4 \pi M}{\sqrt{4 M E - K^2}}$ . . . . (Gl. 5)

Das logarithmische Dekrement, d. h. die Differenz der natürlichen Logarithmen je zweier aufeinander folgender Schwingungsausschläge maximaler Entfernungen des bewegten Punktes von der Gleichgewichtslage, wird zu:

$$D = \frac{\pi \cdot K}{\sqrt{4 M E - K^2}} = \frac{K \cdot T}{4 M} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{(Gl. 6)}$$

Ebenso grofs ist das logarithmische Dekrement von zwei aufeinander folgenden Schwingungsbahnen. Doppelt so grofs jedoch ist das Dekrement von zwei aufeinander folgenden gleichsinnig gelegenen Ausschlägen oder Bahnen.

Die Entwicklungen bestätigen meine Behauptung, dafs das konstante Glied P_0 keinen Einflufs auf die Schwingungen ausübt. Es verschiebt nur die Gleichgewichtslage, wie aus der Formel 4 hervorgeht, um den bei statischen Verhältnissen sich ergebenden Betrag. Ganz das Gleiche gilt für die allgemeine Formel 2 (s. S. 454). Ich würde auf diese Beziehung, die vielleicht auch schon von anderer Seite erörtert worden sein mag, nicht eingegangen sein, wenn nicht unter den Wünschen, welche die

Pariser Kommission ausspricht, neben vielen anderen merkwürdigen sich auch der Passus fände:

6°. Quand on se servira de styles traceurs, il serait à préférer que ces styles écrivissent sur une surface horizontale, les indications des leviers étant ainsi plus fidèles.[1])

Die Pariser Kommission schreibt also dem Eigengewicht des Hebels, denn um dies kann es sich ja nur handeln, oder genauer gesprochen, um das Drehungsmoment, das von der Schwerkraft auf den Hebel ausgeübt wird, einen wesentlichen Einfluſs auf die Treue, mit der die Kurven von den Hebeln aufgeschrieben werden, zu. Das ist nun nach den vorhergehenden Entwicklungen, die man eigentlich nicht für notwendig gehalten hätte, durchaus nicht der Fall, denn ebenso wenig wie die konstante Kraft, welche die Schwingungen ausgelöst hat, Einfluſs auf den Verlauf der Schwingungen hat, ebensowenig besitzt die konstante Schwerkraft einen Einfluſs auf die Schwingungen: wir können sie ruhig hinzufügen, ohne daſs etwas an dem Wesen der charakteristischen Eigenschaften verändert würde. Von den geringen Veränderungen des Drehungsmomentes der Schwerkraft bei den verschiedenen Lagen des Hebels könnte man vollständig absehen, auch wenn sie nicht, was bei den empirisch geeichten Instrumenten immer der Fall ist, durch die Eichung eliminiert werden. In diesem Fall bleibt der Elastizitätskoeffizient: unser E^1, in dem Bereich der Amplitüden der Schwingungen nicht konstant, ebensowenig wie bei in diesem Bereich wechselnden Elastizitätsverhältnissen der Membran. Nur in diesem Sinn können durch die Verschiebung der Gleichgewichtslage die Verhältnisse der Schwingungen geändert sein. Die Verschiebung kann aber jedenfalls sowohl zu einer Verminderung der Treue der Aufschreibungen als zu einer Erhöhung beitragen. Alles dies spielt aber natürlich keine Rolle für die soeben erörterte Frage und findet seine einfache Erledigung in einem späteren Teil dieser Abhandlung. Es ist also ganz gleichgültig für die Treue

1) S. Programm des 5. Physiologenkongresses. Turin, 16.—19. September 1901, S. 5.

der Kurven, ob der Hebel auf eine horizontale oder vertikale Schreibfläche schreibt.

Die Verwendung der soeben entwickelten Formeln bietet eine Reihe von Unzuträglichkeiten, die ihren Grund darin haben, dafs wir dem Charakter des von uns angewendeten Manometers nicht genügend gefolgt sind, als wir die Differentialgleichung aufstellten. Eine kleine Umformung beseitigt diese Unzuträglichkeiten. Sie ist für die weiteren Entwicklungen von der gröfsten Bedeutung.

Wir sind bei der Aufstellung der Gleichung von der Grundvorstellung ausgegangen, unser vereinfachtes Manometer bestünde aus einer Flüssigkeitssäule, die sich in einer zunächst als gleichmäfsig weit angenommenen Röhre unter dem Einflufs einer durch Veränderung der Lage dieser ganzen Flüssigkeitssäule und damit unzertrennlich verbundenen Ausbauchung der Membran geweckten elastischen Kraft befinde. Unser Elastizitätskoeffizient ist gleich dem Zuwachs dieser Kraft pro Zentimeter Verschiebung der Flüssigkeit $= \frac{\Delta P}{\Delta x} = E$. Die Kraft ist proportional dem durch die Ausbauchung der Membran erzeugten hydrostatischen Druck und dem Querschnitt der Flüssigkeit bezw. der Röhre. Ändert sich der Querschnitt der Röhre, so ändert sich der von uns definierte Elastizitätskoeffizient, unser E. Die elastischen Verhältnisse, für die aber dieses E der Ausdruck sein sollte, bleiben dieselben. Unser E ist also keine dem Manometer inhärente Konstante, sondern ist von den zufällig benutzten Röhrenverbindungen abhängig. Was ist mit der Bestimmung von E anzufangen, wenn man eine komplizierte Röhrenverbindung hat, wie sie bei dem praktischen Tierversuche benutzt wird, bei dem man Röhren von dem verschiedensten Kaliber und zum Schlufs noch eine unregelmäfsig gestaltete Kanüle zur Verbindung des Manometers mit dem Ort, an dem der Druck gemessen werden soll, nötig hat? Soll man zu der Bestimmung von E den nur schwer zu ermittelnden Querschnitt des Kanülenendes benutzen, während man doch ohne weitere Entwicklungen einsieht, dafs die kurze Flüssigkeitssäule, die sich

in der Kanüle befindet, vergleichsweise nur von geringem Belang für die Schwingungen sein kann?

Man kann auch von vornherein vermuten, daſs der Querschnitt einen Einfluſs auf die Schwingungsdauer besitzt. Aus unseren Formeln ist dieser Zusammenhang nur auf Umwegen zu erschlieſsen. Die Schlüsse erhalten keine überzeugende Kraft.

Lästig ist auch, daſs wir die elastische Kraft und damit auch die anderen Kräfte der Gleichung als Massenkräfte P bestimmen müssen, während wir doch in dem Versuch die Bestimmungen von hydrostatischen Kräften p (Oberflächenkräften) durchführen. (Gewöhnlich in mm-Längen einer Flüssigkeitssäule durch die Eichungen bestimmt.)

Die letztere Unbequemlichkeit ist leicht zu beseitigen, wenn man die ganze Gleichung durch den Querschnitt der Flüssigkeit Q dividiert. Die anderen Schwierigkeiten fallen fort, wie man sich leicht sagen kann, wenn man nicht die Längenverschiebungen der Flüssigkeitsteilchen, sondern die von dem Querschnitt unabhängigen Volumverschiebungen ins Auge faſst. Wir müssen also so umformen, daſs statt der Längen x und ihrer Differentialquotienten nach der Zeit Volumina V und ihre entsprechenden Derivierten in der Gleichung auftreten. Eine weitere Multiplikation von Zähler und Nenner der Glieder mit dem Querschnitt führt zu der gewünschten Umwandlung.

Die Differentialgleichung lautet dann, wenn man das konstante Glied wieder wegläſst:

$$\frac{M}{Q^2}\frac{d^2x}{dt^2}\cdot Q = -\frac{\Delta P}{\Delta x\cdot Q^2}\cdot x\cdot Q - \frac{K}{Q^2}\frac{dx}{dt}\cdot Q$$

wobei $\frac{\Delta P}{\Delta x} = E$ ist (s. oben).

Hieraus wird:

$$\frac{L}{Q}\cdot s\cdot\frac{d^2V}{dt^2} = -\left(\frac{\Delta p}{\Delta V}\right)\cdot V - \frac{K}{Q^2}\frac{dV}{dt} \quad . \quad . \quad \text{(Gl. 7)}$$

wobei L die Länge der Flüssigkeitssäule, s ihr spezifisches Gewicht und p den hydrostatischen Druck bedeutet.

V ist das Volum der Flüssigkeit, das zur Erzielung der verschiedenen Ausbauchung der Membran durch einen Quer-

schnitt der Röhre, und zwar, wie wir hier gleich festsetzen wollen, durch den in der Nähe des Manometers befindlichen »Anfangsquerschnitt« hindurchtritt. Dieses V kann positiv oder negativ sein. Den Differentialquotienten $\frac{dV}{dt}$ wird man dann als die Stromstärke oder Stromintensität bezeichnen können. $\frac{d^2V}{dt^2}$ stellt die Änderung der Stromstärke dar.

Die veränderten Entwicklungen wollen wir nicht von neuem anschreiben, sondern einfach die Koeffizienten folgendermaſsen zusammenfassen:

Wir bezeichnen $\frac{L}{Q} \cdot s$ mit M' als wirksame Masse, $\frac{\Delta p}{\Delta V}$ mit E' und K/Q^2 mit $K' \cdot M'$ wird bei destilliertem Wasser der Zahl nach zu L/Q.

Die durch Einsetzen dieser Koeffizienten statt der alten Formeln erhaltenen neuen Beziehungen bezeichnen wir ebenfalls durch einen Strich ′, also die Formel für die Schwingungsdauer als Gl. 5′ und die Formel für das Dekrement als Gl. 6′.

Nun treten unmittelbar alle gewünschten Beziehungen in den Formeln klar zutage. Wir sehen, daſs die Schwingungsdauer von der Länge der Flüssigkeitssäule, dem spezifischen Gewicht und, was auſserordentlich überraschend ist, auch von dem Querschnitt der schwingenden Flüssigkeit abhängt. Wir werden im einzelnen noch darauf zurückkommen. Für die Zwecke der Korrektur von durch die Meſsinstrumente erhaltenen Kurven werde ich noch eine weitere Umformung (s. S. 606) vornehmen, die uns eine groſse praktische Erleichterung gewähren wird, während die vorhergehende der theoretischen Erkenntnis zugute kommt.

In dem Folgenden werde ich alle Gröſsen in absolutem Maſse angeben, in Einheiten des cm, g, Sek.-Systems, also auch den hydrostatischen Druck nicht in mm Hg, sondern in Dynen für die Einheit des cm². 1 mm Hg ist gleich 1329 Dynen pro cm², bei einer Erdbeschleunigung, wie sie in unseren Breiten vorhanden ist. Daſs diese Zahlen unverhältnismäſsig groſs sind,

werde ich in Megadynen = 1000 Dynen rechnen. Ebenso werde ich E' und K' in tausendfach gröfseren Einheiten als sie aus dem absoluten Mafssystem resultieren, angeben. Die Anwendung der Einheiten dieses Systems hat im übrigen für unsere ziemlich verwickelten Berechnungen den grofsen Vorteil, dafs wir für die aus den Berechnungen resultierenden Gröfsen die Einheiten nicht mehr festzustellen brauchen. Sie ergeben sich ohne weiteres als Sekunden, g etc.

Die Dimensionen der bei den verwendeten Gleichungen in Betracht kommenden Gröfsen sind folgende:

$$V = l^3,\ p = ml^{-1}t^{-2},\ M' = ml^{-4},\ E' = ml^{-4}t^{-2},\ K' = ml^{-4}t^{-1}.$$

Die Schwingungsdauer.

Wir gehen jetzt zu dem Vergleich der experimentell und theoretisch gewonnenen Ergebnisse über und behandeln zunächst die verschiedenen Einflüsse auf die Schwingungsdauer, die ja ein Hauptcharakteristikum der Eigenart der Schwingungen ist. Wir sondern vorerst eine Einwirkung auf sie von der Betrachtung aus: die Verlangsamung der Schwingungen durch die Reibung. Bei den zunächst besprochenen Experimenten ist der Einflufs der Reibung so gering, dafs er vernachlässigt werden kann. Wir werden ihn in einem besonderen Kapitel behandeln (s. S. 583). Wir können dann die übrigen Beziehungen der Schwingungsdauer zu den Gröfsen M' und E' in eine einfachere Formel, welche der einfachen, ungedämpften, harmonischen Schwingung entspricht, zusammenfassen.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{M'}{E'}} = 2\pi\sqrt{\frac{s \cdot L}{Q \cdot E'}} \quad . \quad . \quad . \quad \text{(Gl. 8)}$$

Zur Erleichterung der Übersicht über die nachfolgenden Erörterungen gebe ich hier eine Skizze (Fig. 6, S. 473) des Ablaufs der Schwingungen mit den Bezeichnungen, die ich von jetzt ab anwenden will. Das erste Maximum bezeichne ich mit 1, das erste Minimum mit 1′ etc. Diese Punkte sind die Umkehrpunkte der Schwingungen. Eine volle Schwingungsdauer rechne ich von einem Umkehrpunkt bis zu dem gleichsinnig gelegenen nächsten, also von 1 bis 2 etc. Sie ist theoretisch auch identisch

mit der Zeit, welche die schwingende Masse braucht, um von der einen Gleichgewichtslage nach zweimaliger Umkehr wieder in die Gleichgewichtslage zurückzukehren. Bei unseren Versuchen ist es aus verschiedenen Gründen (Nachdehnung) nicht möglich, von der Gleichgewichtslage auszugehen. Die Ordinatenstrecke von einem Maximum zu dem nächsten Minimum bezeichne ich als Schwingungsbahn, während die Strecke von der Gleichgewichtslage bis zu dem nächsten Umkehrpunkt als Ausschlag oder Amplitüde nach der allgemeinen Nomenklatur bezeichnet wird.



Fig. 6.

Die Unabhängigkeit der Schwingungsdauer von der Amplitüde.

Das oben mathematisch formulierte Gesetz (Gl. 8) für die Dauer der harmonischen gedämpften und ungedämpften Schwingung verlangt, daſs die Schwingungsdauer unabhängig von der Gröſse der Amplitüden ist. Der Wert der Amplitüde kommt in der Formel für die Dauer der Schwingungen nicht vor (s. Gl. 5′ und 8). Wir müssen vor allen anderen Dingen zusehen, ob diese Forderung bei unseren Versuchen erfüllt war. Ich stelle die Schwingungsdauern, die ich bei verschiedenen Versuchen und den verschiedenen abnehmenden Amplitüden berechnet habe, in der Tabelle 1 zusammen. Um mir ausführliche Berechnungen zu ersparen, gebe ich nur die Abszissenlängen der verschiedenen Schwingungen an, indem ich dabei voraussetze, daſs die Geschwindigkeit des bewegten Films während der kurzen Zeiten konstant geblieben ist. In der ersten Kolumne der Tabelle sind die Umkehrpunkte nach der Fig. 4 angegeben.

(Siehe Tabelle auf S. 30.)

Aus der Tabelle ist nun irgend eine eindeutige Abhängigkeit der Schwingungsdauer von der Amplitüde nicht zu ersehen. Die Messungen, die ganz unkorrigiert, gerade so wie ich sie 1 Monat vor der Zusammenstellung aufgeschrieben habe, in die Tabelle und ohne Auslese aufgenommen worden sind, haben jedenfalls

Tabelle 1.

	9. Juni						12. Juni				22. Juli	7. Aug.
	No. 1,1	1,2	1,3	2,2	2,3	4,1	3	4	6	12	7	10,2
1—2	1,10	0,60	1,20	0,64	1,20	1,05	1,10	0,78	0,87	1,25	2,61	1,50
2—3	1,20	0,70	1,15	»	»	»	»	»	»	»	»	1,50
3—4	1,10	0,50	1,25	»	»	»	»	»	»	»	»	1,48
4—5	1,15	0,65	1,20	»	»	»	1,10	0,80	0,85	1,27	»	1,42
5—6	1,15	0,55	1,20	0,63	1,19	1,03	»	»	»	»	2,65	1,48
6—7	1,20	0,65	1,10	»	»	»	»	»	»	»		1,42
7—8	1,10		1,20	»	»	»				1,28		
8—9	1,10		1,10	»	»	»				»		
9—10			1,20							»		

den äufsersten Grad der möglichen Genauigkeit noch nicht erreicht. Insbesondere war an dem Nonius des Zeifsschen Apparates eine kleine Unregelmäfsigkeit störend. Aufserdem konnten sich die kleinen Unregelmäfsigkeiten der Filmbewegung, die nicht auskorrigiert worden sind, bemerkbar machen.

Die Abweichungen von der Konstanz der Schwingungsdauern sind jedoch ganz unregelmäfsig. Die Konstanz ist im ganzen eine sehr überraschende. Während z. B. im Versuch 9. Juni, Nr. 1, die Länge der Schwingungsbahn von 21,60 mm (Schwingungsbahn 1—1′ auf dem Film gemessen), auf 0,20 mm (Bahn 10—10′), also um mehr als das Hundertfache abnimmt, kann man eine Veränderung der Schwingungsdauer nicht konstatieren. Bei Versuch vom 12. Juni, Nr. 12, sind sogar die Schwingungsdauern von Schwingungen bestimmt, bei denen die Länge der Schwingungsbahn von 27,25 mm (1—1′) auf 0,17 mm (10—10′), also auf 1/160 abnimmt, ohne dafs sich eine Veränderung der Schwingungsdauer hätte nachweisen lassen (die 3 % Unterschied in dem Messungsergebnis kommen nicht in Betracht). Man kann also den Satz mit Bestimmtheit aussprechen, dafs eine Abhängigkeit der Schwingungsdauer der Schwingungen eines elastischen Manometers von der Gröfse der Amplitüde im allgemeinen nicht vorhanden ist.

Aber es ist doch wahrscheinlich, dafs dieser Satz eine kleine Einschränkung erfahren kann, wenn ich auch bis jetzt keine experimentelle Bestätigung dieser Wahrscheinlichkeit erhalten

habe. Die Konstanz der Schwingungsdauern bei verschiedener Amplitüde ist an die Bedingungen, die in der Differentialgleichung ausgesprochen sind, geknüpft: an die Konstanz der Masse M' und des Elastizitätskoeffizienten E' bei den verschiedenen Amplitüden. Die Masse M' ist jedenfalls, man vergleiche die folgenden Betrachtungen, als konstant anzusehen. Anders steht es mit dem Elastizitätskoeffizienten E'.[1]) Wenn man auch aus den verschiedensten Gründen möglichst bestrebt ist, diese Konstanz zu erzielen, so erreicht man dies in der Wirklichkeit niemals genau. Wäre der Koeffizient E' konstant, so würden wir als Dehnungskurve eine gerade Linie erhalten. Die Dehnungskurve ist in den meisten Fällen also nicht eine gerade Linie, sondern sie kann in der verschiedensten Weise von ihr abweichen (s. S. 505). Es kommt auf die Art der Abweichung der Dehnungskurve von der geraden Linie an, also auf die Art der Abweichung der Elastizitätsverhältnisse der Membran von dem Hookschen Gesetz, ob sich ihr Einfluſs so bemerkbar macht, daſs man die Abhängigkeit der Schwingungsdauer von der Gröſse der Ausschläge durch Messungen feststellen kann. Einen allgemeinen analytischen Ausdruck für diese Verhältnisse habe ich noch nicht gefunden. Aber eine geometrische Betrachtung hilft uns diese Beziehungen verstehen lernen. Wir betrachten den Verlauf der Dehnungskurve in der Nähe des Punktes, um den die Schwingungen erfolgen, also in der Nähe des Gleichgewichts. Beifolgende Skizze (Fig. 7) möge die Entwicklungen erläutern. Wir wollen die Zeit berechnen, welche die Masse zu der Bahn von dem Umkehrpunkt bis zur Gleichgewichtslage, also zu einer Viertel-Schwingung, braucht. Wir denken uns, der schwingende Massenpunkt, mit dem wir jetzt wieder unser Manometer vergleichen wollen, sei an einem Umkehrpunkt X_0 angelangt. Der Umkehrpunkt nehme bei allen zu vergleichenden Dehnungskurven ein und dieselbe

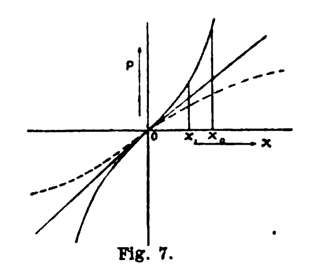


Fig. 7.

1) Die übrigen Betrachtungen über den Einfluſs von E' auf die Schwingungsdauer folgen unten S. 509.

Lage ein, d. h. er besitze dieselbe Entfernung von der Gleichgewichtslage $X = 0$. In dem Umkehrpunkt hat die Masse auf jeden Fall die Geschwindigkeit 0. Wir wollen nun zusehen, wie grofs die Geschwindigkeiten in den verschiedenen Punkten ihrer bis zur Gleichgewichtslage reichenden Bahn sind, je nach der Form der Dehnungskurven? Um hierüber zu einem Entscheid zu kommen, nehmen wir den Satz von der lebendigen Kraft zu Hilfe, der lautet:

$$\int P d s = \frac{m v^2}{2} - \frac{m v_0^2}{2},$$

d. h. die lebendige Kraft, welche die Masse in dem beliebigen Punkt der Bahn x_1 besitzt, ist gleich der von den elastischen Kräften von dem Umkehrpunkt bis zu diesem Punkt geleisteten Arbeit. Die lebendige Kraft und damit die Geschwindigkeit ist um so gröfser, je gröfser die geleistete Arbeit ist und umgekehrt. Nun ist das $\int_{x_0}^{x_1} P dx$ für einen Punkt x_1 der Bahn gröfser als derselbe Wert für eine geradlinige Dehnungskurve dann, wenn die Dehnungskurve wie die ausgezogene Kurve der Skizze konvex zu der durch den Gleichgewichtspunkt gezogenen Abszisse (= der horizontalen Linie) verläuft, und kleiner, wenn die Dehnungskurve konkav zu dieser Linie liegt. Ein Blick auf die Kurve und die die Gröfse $\int_{x_0}^{x_1} P dx$ repräsentierenden Flächen zeigt dies unmittelbar. Ist aber die Geschwindigkeit in jedem Punkt der Bahn gröfser oder kleiner als die in einem andern Fall erreichte, so ist auch die Zeit, welche die Masse braucht, um von dem Umkehrpunkt bis zu einem beliebigen Punkt der Bahn, also auch bis zum Gleichgewichtspunkt zu gelangen, gröfser oder kleiner als in dem andern Fall, denn $dt = \frac{dx}{v}$ und $\int_0^t dt = \int_{x^0}^0 \frac{dx}{v}$. Ein bekannter Satz aus der Theorie der bestimmten Integrale gibt dann die erwähnte Folgerung.

Wir können danach drei Arten von Dehnungskurven unterscheiden, je nach ihrer Wirkung auf die Schwingungserscheinungen. Da nun die Unterschiede von $\int_{x_0}^{x_1} P dx$ für die verschiedenen Dehnungskurven verschwinden, wenn der Umkehrpunkt in die Nähe der Gleichgewichtslage rückt — die lineare Dehnungskurve ist ja die Tangente der gekrümmten — so ist die Dauer der von uns betrachteten Viertelschwingung und damit auch der Bezirk von der Gleichgewichtslage bis zu dem einen Umkehrpunkt und zurück sich erstreckenden halben Schwingung von der Amplitüde abhängig. Die Dauer der halben Schwingung nimmt mit abnehmender Amplitüde zu, wenn die Dehnungskurve in diesem Bezirk konvex gegen die Abszisse der Gleichgewichtslage gelegen ist, im anderen Fall nimmt sie ab. Dies gilt von der halben Schwingung. Etwas anders steht es aber mit der ganzen Schwingung. Setzt sich die Dehnungskurve zu beiden Seiten der Gleichgewichtslage aus zwei Ästen zusammen, die in gleichem Sinne gegen die Abszisse der Gleichgewichtslage gekrümmt sind, so gilt von der ganzen Schwingung dasselbe wie von der halben. In diesem Falle besitzt die Dehnungskurve in der Gleichgewichtslage einen Wendepunkt.

Trifft dies nicht zu, so tritt eine Kompensation für die während einer halben Schwingung — gegenüber den Schwingungen mit konstantem E' — gewonnene oder verlorene Zeit ein, wenn die Masse durch die Gleichgewichtslage in den entgegengesetzt gelegenen Ausschlagbezirk ($-x$) gelangt. Die ganze Schwingungsdauer kann dann die gleiche wie bei der harmonischen Schwingung oder auch nur wenig von ihr verschieden sein. In diesem Fall ist die Schwingungsdauer der ganzen Schwingung auch unabhängig oder nahezu unabhängig von der Amplitüde. Die Schwingung setzt sich dann aber aus zwei in ihrem zeitlichen Verlauf ungleichen Hälften zusammen, die um so ähnlicher werden, je kleiner die Amplitüde der Schwingungen ist. Bei meinen Schwingungsversuchen haben die Verhältnisse meistens wie in dem letzten Fall gelegen. Aufserdem waren die Exkursionen nicht so bedeutend, dafs von den schwingenden Massen

Bezirke von wesentlich verschiedenen Elastizitätskoeffizienten durchlaufen worden sind. Ein eindeutiger Einfluſs der Amplitüde auf die Schwingungsdauer konnte, wie die obige Zusammenstellung zeigt, bei keinem Versuche bemerkt werden. Doch würde es sich immerhin verlohnen, das Augenmerk auch diesen Erscheinungen zuzuwenden. Sie sind für eine nähere Analyse des Verlaufs der Schwingungskurven wohl zu beachten. Die vorhergehenden Betrachtungen geben jedenfalls die Gesichtspunkte, nach denen man bei der Untersuchung zu verfahren hätte. Stöſst man bei der praktischen Verwertung der Schwingungsversuche zum Zwecke der Korrektur der von irgend einem Instrument erhaltenen Kurven auf solche Erscheinungen, so ergibt sich als Folgerung aus unseren Betrachtungen, daſs man zur Feststellung der Dauer der um einen bestimmten Punkt der Dehnungskurve (Gleichgewichtslage) erfolgenden Schwingungen nur die Schwingungen mit möglichst kleiner Amplitüde zu berücksichtigen hat. Die Grenze, bis zu der man im einzelnen Fall gehen muſs, läſst sich nicht allgemein feststellen, sie hängt von dem Maſs ab, in dem die Dehnungskurve von der geraden Linie abweicht. Aus unseren Betrachtungen läſst sich ein weiterer Grund dafür ableiten, die Dehnungskurve der Membran möglichst linear zu gestalten. Über die Möglichkeiten, eine solche Absicht durchzuführen, s. unten S. 505.

Die Abhängigkeit der Schwingungsdauer von der Länge der schwingenden Flüssigkeitssäule.

Um die Beobachtungen systematisch mit den aus unserer Formel sich ergebenden Berechnungen vergleichen zu können, behandeln wir den Einfluſs, den die drei Gröſsen: die Länge der schwingenden Flüssigkeitssäule, der Querschnitt derselben und die Elastizität der Membran auf die Schwingungsdauer ausüben, in besonderen Abschnitten. Es wird so möglich sein, den Grund etwaiger Abweichungen der berechneten Gröſsen von den beobachteten festzustellen. Zunächst betrachten wir den Einfluſs der Länge der schwingenden Flüssigkeitssäule auf die Schwingungsdauer. Nach unserer Formel (s. Gl. 8) ist die Schwingungs-

dauer proportional der Wurzel aus der Länge der schwingenden Säule. Die Beobachtungsergebnisse meiner Versuche stelle ich mit einigen aus ihnen berechneten Zahlen, die den Vergleich der Beobachtungsresultate mit dieser Konsequenz unserer Formel ermöglichen sollen, in der Tabelle 2 zusammen.

Tabelle 2.

	T	L	$\sqrt{L}$	$T/\sqrt{L}$	Verhältnis	Q	
9. VI. 1902							
I. 1.	7,80	31,9	5,65	1,383	100	0,113	
2.	5,82	16,2	4,02	1,448	105	»	
3.	3,54	4,1	2,01	1,762	127	»	
II. 1.	4,11	31,9	5,65	0,728	100	»	
2.	3,06	16,2	4,02	0,761	105	»	
3.	1,92	4,1	2,01	0,951	131	»	
11. VI. 1902							
II. 4.	2,01	7,8	2,79	0,722	100	»	
3.	1,61	4,1	2,01	0,801	111	»	
12. VI. 1902							
I. 6.	8,13	31,7	5,63	1,444	100	»	
5.	5,56	13,5	3,68	1,514	105	»	
4.	4,46	7,4	2,72	1,639	114	»	
3.	3,56	4,2	2,04	1,750	121	»	
23. VI. 1902							
I. 7.	16,72	64,6	8,04	2,081	100	0,066	
6.	13,75	44,4	6,67	2,065	99	»	
5.	9,62	24,2	4,92	1,956	94	»	
4.	7,21	14,2	3,77	1,914	92	»	
3.	4,08	5,7	2,39	1,709	82	»	
II. 7.	8,11	64,6	8,04	1,009	100	»	
6.	6,79	44,4	6,67	1,019	101	»	
5.	4,96	24,2	4,92	1,008	100	»	
4.	3,79	14,2	3,77	1,006	100	»	
3.	2,27	5,7	2,39	0,951	94	»	
10. VII. 1902							
I. 3.	11,95	64,2	8,01	1,493	100	»	Spiegelmanometer
1.	9,58	36,1	6,00	1,598	107	»	
II. 3.	11,36	64,2	8,01	1,418	100	»	
1.	8,78	36,1	6,00	1,463	103	»	
7. VIII. 1902							
II. 10.	8,22	69,2	8,32	0,988	100	»	
9.	6,48	42,2	6,49	0,999	101	»	
8.	3,88	17,3	4,15	0,937	95	»	

In der ersten Kolumne hinter den Versuchsnummern ist die Schwingungsdauer unter T verzeichnet. In der nächsten ist die Länge der Säule angegeben. Dann folgt die Wurzel aus der Länge. Ist nun unsere Formel richtig, so ist $T = C\sqrt{L}$ (C eine Konstante), oder $T/\sqrt{L}$ mufs für jeden Versuch, in dem nur die Länge der Säule geändert worden ist, eine Konstante sein. Da dies $T/\sqrt{L}$ nicht streng konstant ist, habe ich, um den Sinn der Abweichungen zu ermitteln, in einer weiteren Kolumne die prozentischen Abweichungen dieses Ausdrucks bei den verschiedenen Längen der Säulen angegeben, und zwar habe ich jeweilig den für die gröfste Länge der schwingenden Säule berechneten Ausdruck gleich 100 gesetzt.

Der Ausdruck $T/\sqrt{L}$, der uns einen Mafsstab für die Richtigkeit unserer Formel abgeben soll, erscheint überraschend konstant. Die Abweichungen betragen bei einer Variation der schwingenden Längen um mehr als das 10fache, im höchsten Falle 30%. Man würde sich wohl mit dieser Übereinstimmung mit der Formel begnügt haben können, da nach verschiedenen Seiten die Bestimmungen in meinen Versuchen nicht den Grad der Genauigkeit erreicht haben, der überhaupt zu erreichen gewesen wäre. Mir kam es, als ich die Versuche begann, auch nur darauf an, in grofsen Zügen die Beobachtungen mit der Theorie zu vergleichen. Die Übereinstimmung ist aber bedeutend gröfser, als sie aus diesen Zahlen hervorzugehen scheint. Die Versuche setzen voraus, dafs die Flüssigkeit in einer gleichmäfsig weiten Röhre schwinge. Nur unter diesen Umständen ist der Einflufs, den die Gröfse des Querschnittes nach unserer Formel haben mufs, vollständig eliminiert. Leider ist dies nun bei keinem der Versuche der Fall gewesen.

Die Röhre, in der die Flüssigkeit sich bewegte, mufste aus zwei Stücken hergestellt sein: der Metallröhre an der Manometertrommel und der verbindenden Glasröhre. Die Manometerröhre besafs einen Durchmesser von 2,8 mm, während die angesetzte Glasröhre bei den ersten Versuchen 3,8 mm war und bei den letzten (ab 23. VI.) die Glasröhre 2,9 mm weit war. Die Glas-

röhre war also in allen Fällen weiter als die Manometerröhre. Bei den Versuchen mit den grofsen Längen wirkte so hauptsächlich der weite Querschnitt der Glasröhren, bei den kurzen Längen der enge Querschnitt der Manometerröhre. Es zeigt sich denn auch bei den ersten Versuchen, bei denen der Unterschied in der Weite der beiden aneinandergesetzten Röhren beträchtlich war, ein Wachsen des charakteristischen Verhältnisses $T/\sqrt{L}$ mit abnehmender Länge, d. h. die beobachteten Zeiten waren relativ zu lang. Bei den späteren Versuchen ist eher das Umgekehrte wahrzunehmen. Bei ihnen war der Unterschied der beiden Querschnitte nicht mehr so grofs, dafs dadurch ein merklicher Einflufs auf das Versuchsergebnis ausgeübt werden konnte. Wir müssen auf jeden Fall, um den Grad der Übereinstimmung von Beobachtung und Rechnung wirklich feststellen zu können, eine Korrektur für die Ungleichmäfsigkeit des Querschnittes anbringen. Dies können wir aber erst nach genauerer Erörterung des Einflusses der Querschnittes auf die Schwingungsdauer (s. unten).

Noch ein anderer, wohl etwas nebensächlicher Umstand läfst eine genaue Übereinstimmung nicht erwarten. Die Länge der schwingenden Flüssigkeitssäule ist nicht genau anzugeben, weil wir den Teil der Säule, der sich innerhalb des undurchsichtigen Manometerkörpers befindet, nicht messen können. Man weifs nicht, wie weit die Flüssigkeit in den senkrechten Teil der Manometerröhre steigt (s. Fig. 1 u. 2). Wir müfsten bei einer künftigen Wiederholung der Versuche durch besondere Einrichtungen dies festzustellen suchen, etwa indem wir den Manometerkörper aus Glas anfertigen lassen oder mit Sicherheit dafür sorgen, dafs die Flüssigkeit das Manometer bis zur Membran vollständig erfüllt, was ebenso wenig bei meinem Manometer als bei allen bis jetzt von den Autoren angewendeten der Fall ist.

Der Einflufs des Querschnittes der schwingenden Flüssigkeitssäule auf die Schwingungsdauer.

Aus unserer Formel (s. Gl. 8) ergibt sich die wichtige und äufserst merkwürdige Folgerung, dafs die Schwingungsdauer der Wurzel aus dem Querschnitt **umgekehrt** propor-

tional ist. Um diese Beziehung zu prüfen, hätte ich an dieselbe Manometertrommel in den jeweilig zu vergleichenden Fällen zylindrisch geformte gleichweite Röhren von verschiedenem Querschnitt ansetzen müssen und die Schwingungen der in denselben befindlichen Flüssigkeitssäulen von gleicher Länge beobachten müssen. Dieser Forderung, dafs die anzusetzenden Röhren in ihrer ganzen Länge zylindrisch sind, ist nun aus technischen Gründen nur schwer, streng überhaupt nicht zu genügen. Wir müssen zur Verbindung der Röhren mit dem Manometerkörper immer Ansatzröhren von bestimmter, bei meinen Versuchen geringerer Weite anbringen. Dadurch werden Röhren von verschiedener Weite miteinander verbunden. Bei meinen Versuchen, die ich zur Prüfung des Gesetzes in der erörterten Richtung verwenden kann, ist die erwähnte Forderung durchaus nicht erfüllt. Aber die Versuche zeigen qualitativ die Übereinstimmung der Beobachtungen mit der Formel in eklatanter Weise. Bei dem Hauptversuch, der die Gültigkeit der Formel unmittelbar erweist, liefs ich die an dieselbe Manometertrommel angefügte Flüssigkeitssäule einmal in zylindrischer Röhre von 2,9 mm Weite schwingen und dann in einer viel weiteren Röhre (mittlerer Teil 3,5 cm weit) von der nebenstehenden Form. (Fig. 8.) Die Länge der Flüssigkeitssäule war in beiden Versuchen gleich, nämlich 69,2 cm. Die Schwingungsdauer betrug in dem ersten, mit der engen Röhre angestellten Versuch 8 · 215/100 Sekunden und war in dem zweiten Versuch 2 · 394/100 Sekunden, ein gewifs höchst auffallendes Resultat, wenn man bedenkt, dafs in dem zweiten Fall die in der Röhre schwingende Flüssigkeit fast die 10fach gröfsere Masse (in dem gewöhnlichen Sinn) besafs als bei dem ersten Versuch. Es ist ein Resultat, das unsere Entwicklungen glänzend bestätigt.

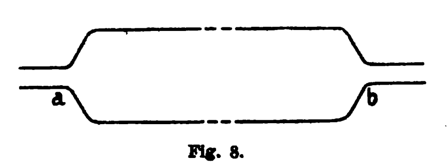


Fig. 8.

Wie steht es aber nun mit der quantitativen Übereinstimmung unserer Beobachtungen mit dem Gesetz? Der verwickelte Querschnitt erlaubt einen einfachen Vergleich nicht. Zunächst schien es

mir das einfachste, den mittleren Querschnitt als das richtige Mafs zum rechnerischen Vergleich der beiden Ergebnisse zu benutzen. Der mittlere Querschnitt (aus dem Inhalt der Röhre und ihrer Länge berechnet) betrug 8,1 qcm. L/Q wäre also gleich hiernach gleich 8,6 zu setzen. Nehmen wir nun an, dafs die bei dem ersten Versuch mit der engen Röhre sich ergebende Gröfse von L/Q mit der aus der Schwingungsbeobachtung abgeleiteten wirksamen Masse M' übereingestimmt hätte (was auch tatsächlich der Fall war, wie ich später noch auseinandersetzen werde, s. S. 512), so hätte sich aus der Schwingungsbeobachtung in dem zweiten Fall die wirksame Masse zu 88,4 ergeben. (Nach Gl. 8 aus dem Verhältnis der Quadrate der Schwingungsdauern berechnet.) Die Übereinstimmung ist zwar durchaus nicht befriedigend (8,6 berechnet aus den Dimensionen gegen 88,4 aus den Schwingungsbeobachtungen abgeleitet), aber ich beruhigte mich zunächst bei dem Ergebnisse, da man wohl Gründe dafür finden kann, dafs die Gröfse L/Q zu klein ausfällt: Es ist klar, dafs an den Röhrenübergängen (*a* und *b* von Fig. 6) die Flüssigkeit sich nicht in der ganzen Röhre bewegt, sondern die Bewegung sich auf einen Flüssigkeitsstrahl, dessen Form unbekannt ist, beschränkt. Damit war bei den aufserordentlichen Unterschieden in der Weite der verschiedenen in dem zweiten Fall aneinandergesetzten Röhren eine Erklärung für die Abweichung der Berechnung von der Beobachtung gegeben. Dem Sinne nach stimmte die Beobachtung ja mit der Theorie überein. Ergab sich doch bei der engen Röhre aus den Dimensionen und den Schwingungen für M' die Gröfse ca. 1000.

Aber die Betrachtung eines Grenzfalles zeigt mir, dafs die Heranziehung des mittleren Querschnittes zur Berechnung von L/Q bei Kombinationen von Röhren ungleicher Weiten nicht zulässig ist. Man denke sich die Flüssigkeit in einer längeren zylindrischen Röhre von endlichem Querschnitt schwingend. Es ist nun klar, dafs wenn man an diese lange Röhre eine sehr kurze, aber mit aufserordentlich grofsem, sagen wir unendlichem Querschnitt ansetzt, dafs dadurch ein merkbarer Einflufs auf die Schwingungsdauer nicht ausgeübt werden kann, während doch

der mittlere Querschnitt der Röhre aufserordentlich zunimmt, sogar unendlich wird.

Wir müssen, um die mathematischen Entwicklungen für diesen Fall anwendbar zu gestalten, ein Prinzip, dem wir schon bei der Aufstellung unserer Gleichung gefolgt sind, das d'Alembertsche Prinzip, strenger anwenden. In seiner eigentlichen Formel lautet es: $\Sigma P = \Sigma m \frac{d^2 x}{d t^2}$. Dies besagt, dafs die Summe der Trägheitskräfte gleich der Summe der wirklich an einem Punkthaufen angreifenden Kräfte ist. Als Elemente der Flüssigkeitssäule (materielle Punkte des Haufens) nehmen wir zunächst die einzelnen Scheiben von dem Querschnitt Q und der Länge Δl an und setzen voraus, dafs die Geschwindigkeit der Flüssigkeitsströmung bei den Schwingungen innerhalb eines solchen Querschnittes konstant sei und nicht, wie dies in Wirklichkeit der Fall ist, von der Mitte der Röhre nach dem Rand zu infolge der Reibung abnimmt. Diese Voraussetzung ist bis jetzt bei allen Ableitungen ähnlicher Natur, wie wir sie jetzt vornehmen, gemacht worden, so bei der Ableitung der Schallgeschwindigkeit in Röhren oder der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Drucks in elastischen Röhren etc. Wir werden nachher sehen, dafs sich Beziehungen erdenken lassen, für die alle entwickelten Gesetze gelten, auch wenn die Geschwindigkeit der Strömung innerhalb eines Querschnittes nicht konstant ist. Die Geschwindigkeiten der Flüssigkeitsströmung innerhalb der Manometerröhre ist an sich von geringem Betrag, so dafs man jedenfalls gut mit einer mittleren Geschwindigkeit rechnen kann. Die Volumverschiebungen, die Stromintensitäten und ihre Beschleunigungen sind dann in der ganzen Röhre nach dem für unzusammendrückbare Flüssigkeiten geltenden Kontinuitätsgesetz überall gleich; die Geschwindigkeiten der einzelnen Flüssigkeitsteilchen stehen nach diesem Gesetz in jedem Querschnitt im umgekehrten Verhältnis zu dem Querschnitt. Wir nehmen nun an, dafs sich die auf die einzelnen Querschnitte wirkenden Teilkräfte Δp nach dem d'Alembertschen Prinzip summieren lassen zu der auf die ganze Flüssigkeitsmasse wirkenden Kraft. Diese ist gleich dem durch die Ausdehnung

der elastischen Membran erzeugten hydrostatischen Druck. Die Stelle, wo er wirkt (also die Manometertrommel), will ich, wie ich oben S. 471 schon erklärt habe, als Anfang der Flüssigkeitssäule bezeichnen. Die auf die Oberfläche der Flüssigkeit wirkende Kraft (hydrostatischer Druck) verteilt sich auf die einzelnen Querschnittscheiben so, dafs sie die Massenwirkung an den einzelnen Scheiben erzeugen kann, dafs sie also mit der an der einzelnen Scheibe wirkenden Trägheitskraft: $Q \cdot s \cdot \Delta l \cdot \frac{d^2x}{dt^2}$ im Gleichgewicht steht. Am Ende der Flüssigkeitssäule herrscht dann stets der Druck 0 (d. h. kein Überdruck, der die Flüssigkeit in die Gleichgewichtsstellung zurückzuführen bestrebt ist). Die Zustände in den beiden extremen Lagen der Flüssigkeit bei den Schwingungen sollen durch Fig. 9 angedeutet sein. Wenn eine Summierung nach dem d'Alembertschen Prinzip möglich sein soll, darf dann aufser diesen Kräften keine innere Kraft an den einzelnen Scheiben wirksam sein. Man wird nun wohl annehmen dürfen, dafs die Wirkung der Reibungskräfte, die als einzige innere Kräfte noch an den einzelnen Teilchen angreifen (wobei selbstverständlich von allen anderen Zustandsänderungen als mechanischen überhaupt abgesehen wird), vollständig in dem Dekrement der Schwingungsamplitüde (s. S. 581) zum Ausdruck kommt. Aufserdem ist die Reibung in den verhältnismäfsig weiten Röhren, die bei den hier behandelten Versuchen angewandt wurden, nur von sehr geringem Einflufs auf die Schwingungsdauer (meistens nur unter einem halben Prozent). Wir halten uns also für berechtigt, die Summierung nach dem d'Alembertschen Prinzip vorzunehmen. Wir setzen dann auch noch voraus, dafs der hydrostatische Druck sich innerhalb eines Querschnittes nicht ändert, also eine von Querschnitt zu Querschnitt wechselnde Verteilung des Drucks ähnlich wie bei einer unter der Wirkung der Schwere stehenden ruhenden Flüssig-

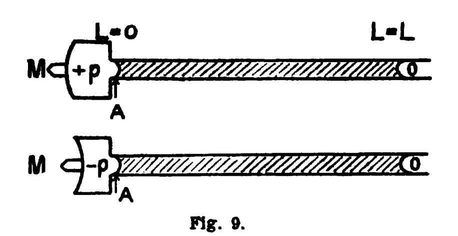


Fig. 9.

keitssäule. Diese vielleicht etwas weitläufig aussehende Erläuterung zu den folgenden mathematischen Entwicklungen scheint mir doch notwendig, damit man genau den Grund kennt, auf dem sich die weiteren Folgerungen aufbauen. Das d'Alembertsche Prinzip ist eigentlich nur für im strengen Sinne starre Körper bestimmt, und es ist nur unter bestimmten Einschränkungen auf andere Verhältnisse anwendbar. Streng genommen müfste ja für alle in der Natur vorkommenden sogenannten festen Körper, die niemals völlig starr sind, eine ähnliche Entwicklung wie hier vorgenommen werden. Wenn man öfter dem Ausdruck begegnet, die mechanischen Verhältnisse liegen so, als ob sich der Körper in toto bewege, so meint man damit, dafs sich das d'Alembertsche Prinzip anwenden läfst, das die Anwendung des dynamischen, von Newton formulierten Grundgesetzes auf den Punkthaufen vermittelt.

Das dynamische Grundgesetz für unsere Flüssigkeitsscheibe lautet nun:

$$s \cdot Q \cdot \Delta l \cdot \frac{d^2 x}{d t^2} = \Delta p \cdot Q \quad \text{. . . . . (Gl. 9)}$$

oder: $s \Delta l \cdot \frac{d^2 x}{d t^2} = \Delta p.$

Nach dem soeben Dargelegten summieren wir über die ganze Flüssigkeitsmasse hinüber:

$$\sum_0^{L_1} \left(s \cdot \Delta l \cdot \frac{d^2 x}{d t^2} \right) = \sum_0^{p} \Delta p = p.$$

Die Summe aller auf die einzelnen Scheiben wirkenden Druckdifferenzen ist nun gleich dem hydrostatischen Druck, der am Anfang der Säule herrscht, und dieser wechselt je nach der Ausdehnung der Membran nach der Beziehung $\frac{\Delta p}{\Delta V} = E'$ (wobei V immer die Volumverschiebung gegenüber der Gleichgewichtslage bedeutet s. S. 470). Auch den Ausdruck links von dem Gleichheitszeichen können wir noch etwas umformen, indem wir die nach dem Kontinuitätsgesetz längs der ganzen Flüssigkeitssäule gleichen Volumbeschleunigungen $\frac{d^2 V}{d t^2}$ statt der

$\frac{d^2x}{dx^2}$, ähnlich wie oben S. 470 einsetzen. Wir erhalten dann:

$$s \sum_{0}^{L_1} \left(\frac{\Delta l}{Q} \cdot \frac{d^2 V}{dt^2} \right) = -E' \cdot V.$$

s nehmen wir als konstant an (Flüssigkeit als unzusammendrückbar vorausgesetzt, wenn auch gerade durch die Zusammendrückung die Übertragung der Drucke von Schicht zu Schicht wellenförmig zustande kommt (s. u. S. 543), und es resultiert:

$$s \cdot \frac{d^2 V}{dt^2} \sum_{0}^{L_1} \frac{\Delta l}{Q} = -E'. \; V \quad . \quad . \quad \text{(Gl. 10)}$$

d. h. wir haben an Stelle der Gröfse M' unserer Gleichung 7, die für die gleichmäfsig weite Röhre aufgestellt war, den Ausdruck:

$$s \Sigma \frac{\Delta l}{Q}.$$

Er ist also äquivalent M'. Die Dauer der Flüssigkeitsschwingung ist in derselben Weise von ihm abhängig wie von M' in dem bis jetzt betrachteten Falle. Der letztere stellt sich als ein Spezialfall unserer allgemeinen Beziehung dar. Unsere Gleichung umfafst sowohl die Schwingungen von Flüssigkeitssäulen in Kombinationen von (zylindrischen) Röhren als auch die Schwingungen in Röhren, deren Querschnitt sich kontinuierlich ändert. In dem letzteren Fall wird die Summe: $\Sigma \frac{\Delta l}{Q}$ zu dem Integral: $\int_0^L \frac{dl}{Q}$, das sich integrieren läfst, wenn Q als Funktion von L bekannt ist.

Wir wollen hier gleich die Werte dieser Integrale für ein paar einfache Röhrenformen angeben, die als Verbindungsstücke mehrerer Röhren bei Druckmessungen und auch bei anderen hydrodynamischen Versuchen praktische Verwendung finden. Zunächst die wirksame Masse für eine Kugel. Das Integral lautet in diesem Falle: $M' = \int_0^r \frac{dx}{(r^2 - x^2)\,\pi}$, wenn r der Radius

der Kugel ist. Bei der Berechnung dieses Integrals müssen wir aber bedenken, dafs die Funktion $\frac{1}{Q}$ an der Grenze r unendlich wird, und das Integral selbst unendlich wird, wenn wir es bis r erstrecken. Nun ist aber in keinem Fall die Integration über die ganze Kugel nötig, denn mit einer vollständig geschlossenen Kugel haben wir es selbstverständlich bei unseren Versuchen nicht zu tun. Es münden ja von beiden Seiten Röhren in sie ein. Dadurch wird die Halbkugel zu einer Kugelzone, die von dem Mittelpunkt der Kugel bis zu einer Höhe h reicht. Das bestimmte Integral wird dann zu:

$$\int_0^h \frac{dx}{(r^2 - x^2)\pi} = \frac{1}{2r\pi}\left[ln\left(\frac{r+h}{r-h}\right)\right] \quad . \quad . \quad . \quad \text{(Gl. 11)}$$

Der Radius der in die Halbkugel einmündenden Röhre steht zur Höhe der Kugelzone in folgender Beziehung: $\varrho^2 = r^2 - h^2$.

Dieselbe Rechnung für einen Röhrenkonus durchgeführt, ergibt folgendes: Man kann hierbei ebenfalls die Integration nicht bis zu der Spitze des Konus erstrecken, sondern mufs es für einen abgestumpften Kegel berechnen, in den eine Röhre von dem Radius ϱ einmündet. Dann lautet das Integral:

$$M' = \frac{h^2}{r^2\pi}\int\frac{dx}{x^2} = h\,\frac{(r-\varrho)}{\varrho\, r^2\pi} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{(Gl. 12)}$$

Wir können jetzt die wirksame Masse für unsere weite Röhre berechnen. Es ist die Summe aller L/Q für die 2,8 mm weite Manometerröhre, die beiden engeren Endstücke aus der weiten Glasröhre, den beiden halbkugelförmigen Endstücken der weiten Glasröhre und diesem weiten Teil selbst (s. Fig. 6). Wir erhalten so für $\Sigma(L/Q): 40{,}1 + 36{,}3 + 1{,}1 + 6{,}5 = 84{,}0$, während die aus den Schwingungsbeobachtungen ermittelte wirksame Masse gleich 88,4 (s. oben S. 483) ergeben hatte, eine für diese komplizierten und extremen Verhältnisse aufserordentlich gute Übereinstimmung mit der Theorie. Die Übereinstimmung ist aber noch gröfser als unsere Berechnung ergeben hat, denn wir müssen bedenken, dafs jedenfalls an den Übergangsstellen von den engen zu den weiten Röhren die b e w e g t e Flüssigkeit nicht den ganzen

Querschnitt erfüllt hat. Als die wichtigsten Übergangsstellen kann man die beiden halbkugelförmigen Enden der weiten Röhre betrachten. Nimmt man an, dafs die bewegte Flüssigkeit hier die Form eines Konus besessen hat, was der Wirklichkeit jedenfalls viel näher kommt als die unserer Berechnung zu Grunde gelegte Voraussetzung, dafs die bewegte Flüssigkeit die ganze Halbkugel ausgefüllt hätte, wie wir aus der Entstehung der Kontraktion eines Flüssigkeitsstrahls bei dem Ausflufs aus Gefäfsen wissen, so ergibt sich aus unserer obigen Formel (Gl. 12), dafs, wenn dieser Konus nur 4,4 cm in die weite Röhre hineingereicht hätte, also nicht viel weiter als die Halbkugel sich erstreckt (3,5 cm) hat, dafs dann schon der aus den Schwingungsbeobachtungen ermittelte Wert für M' mit dem aus den Dimensionen der bewegten Flüssigkeit berechneten vollständig übereingestimmt hätte. Vermutlich wird also bei derartig geformten Übergangsstücken, die der Kontraktion des Strahls angepafst sind, die Berechnung mit der Beobachtung noch mehr übereinstimmen.

Wir können jetzt, nachdem wir die Beziehungen analytisch entwickelt haben, auch noch für einige weitere Fälle den Grad der Übereinstimmung der Theorie mit der Beobachtung prüfen. Ich kann noch folgende meiner Beobachtungen zu diesem Zwecke verwenden. Die Versuche stelle ich in folgender kleinen Tabelle 3 zusammen: Bei dem ersten Schwingungsversuch war an die Manometerröhre ($d = 2,8$ mm) eine gleichmäfsig weite Röhre

Tabelle 3.

	1 T	2 L	3 L/Q Man.	4 L/Q R_1	5 L/Q R_2	6 $\Sigma(L/Q)$	7 $\sqrt{\Sigma(L/Q)}$	8 $T/\sqrt{\Sigma(L/Q)}$	9 Verhältnis
25.VI. 02									
I. 1.	15,5	64,4	40,1	939	0	979,1	31,3	0,4955 0,4905	100
3.	13,1	62,7	40,1	455	241	736	27,1	0,4830 0,4783	98
4.	20,9	62,1	40,1	455	1164	1659	40,8	0,5135 0,5040	103

von 2,9 mm Durchmesser angesetzt. $L = 64,4$. In dem zweiten und dritten Versuch folgte der Manometerröhre zunächst eine Röhre R_1 von demselben Durchmesser = 2,9 mm und einer Länge von 30 cm. In dem zweiten Versuch reichte die Flüssigkeitssäule noch 30,3 cm in eine 4 mm weite Röhre R_2 hinein, in dem dritten Versuch war diese letzte Flüssigkeitssäule R_2 29,6 cm lang und 1,8 mm weit. Der Durchmesser der aneinandergereihten Flüssigkeitssäulen wechselte also in den verschiedenen Versuchen aufserordentlich. In der folgenden Tabelle sind neben den L/Q für die einzelnen Säulen, ihrer Summe, der Wurzel aus dieser Summe wieder Quotienten berechnet (in der Kolumne 8), aus deren Konstanz man die Gröfse der Übereinstimmung der Ergebnisse dieses Versuchs mit der Theorie entnehmen kann. Zum Schlufs gebe ich (Kolumne 9) die entsprechenden Verhältniszahlen. Die Übereinstimmung unserer Ergebnisse mit den durch die Theorie verlangten liegt wiederum innerhalb weniger Prozente.

Berechnet man nun auch die Werte der vorausgehenden Tabelle 2, aus der das Gesetz, dafs die Schwingungsdauer umgekehrt proportional der Länge der schwingenden Flüssigkeitssäulen ist, demonstriert werden soll, nach dem Muster der zuletzt mitgeteilten Übersicht der drei Versuche, so ergeben sich die folgenden Zahlen der Tabelle 4. Wir haben bei der Erörterung der Tabelle 2 erwähnt, dafs wir an den Zahlen noch eine Korrektur wegen der ungleichen Querschnitte der Röhren anzubringen haben. Diese Korrektur wird durch das soeben ermittelte Gesetz $M' = \Sigma \frac{L}{Q}$ ermöglicht.

(Siehe Tabelle auf S. 491.)

Es zeigt sich nun, dafs die für die Gültigkeit des Gesetzes charakteristischen Quotienten $T/\sqrt{\Sigma L/Q}$ der ersten Versuchsreihe (Vers. 9.—12. VI.) noch besser nach der Korrektur übereinstimmen als zuvor die Quotienten $T/\sqrt{L}$. Im allgemeinen bewegen sich die Abweichungen innerhalb 10%. Die Beobachtungen stimmen also vorzüglich mit der Forderung der Theorie überein, dafs die Schwingungsdauer proportional der

Tabelle 4.

	T	L	$\Sigma(L/Q)$	$\sqrt{\Sigma(L/Q)}$	$T/\sqrt{\Sigma(L/Q)}$	Verhältnis	Q
9. VI. 02							
I. 1.	7,80	31,9	299,1	17,3	0,4512	100	0,113
2.	5,82	16,2	160,8	12,7	0,4590	102	»
3.	3,54	4,1	54,0	7,4	0,4820	107	»
II. 1.	4,11	31,9	299,1	17,3	0,2372	100	»
2.	3,06	16,2	160,8	12,7	0,2412	102	»
3.	1,92	4,1	54,0	7,4	0,2603	110	»
11. VI. 02							
II. 4.	2,01	7,8	86,7	9,3	0,2160	100	»
3.	1,61	4,1	54,0	7,4	0,2192	101	»
12. VI. 02							
I. 6.	8,13	31,7	297,1	17,3	0,4710	100	»
5.	5,56	13,5	137,4	11,7	0,4745	101	»
4.	4,46	7,4	83,6	9,1	0,4880	104	»
3.	3,56	4,2	54,9	7,4	0,4810	102	»
23. VI. 02							
I. 7.	16,72	64,6	982,1	31,3	0,5340	100	0,066
6.	13,75	44,4	675,1	26,0	0,5295	99	»
5.	9,62	24,2	369,6	19,2	0,5005	95	»
4.	7,21	14,2	217,8	14,8	0,4890	92	»
3.	4,08	5,7	89,1	9,4	0,4330	81	»
II. 7.	8,11	64,6	982,1	31,3	0,2589	100	»
6.	6,79	44,4	675,1	26,0	0,2614	101	»
5.	4,96	24,2	369,6	19,2	0,2582	100	»
4.	3,79	14,2	217,8	14,8	0,2569	99	»
3.	2,27	5,7	89,1	9,4	0,2407	93	»
7. VIII. 02							
II. 10.	8,22	69,2	1052,1	32,4	2,535	100	»
9.	6,48	42,4	642,6	25,4	2,557	101	»
8.	3,88	17,3	265,1	16,3	2,385	94	»

Wurzel aus L ist. Doch ist sehr wahrscheinlich, dafs eine bestimmte Abweichung von der Regel, die allerdings vielleicht wieder aus unserer Theorie zu erklären ist, stattfindet. Sieht man von der ersten Hälfte der Versuche ab, bei denen die Versuchstechnik, die erst im Laufe der Versuche verbessert wurde, noch nicht so vollständig entwickelt war, dafs man strengere

Anforderungen an sie stellen kann, und legt man das Hauptgewicht auf die Schwingungsbeobachtungen des letzten Versuchs vom 7. VIII., der mit besonderer Sorgfalt angestellt war, so sieht man, dafs der charakteristische Quotient mit abnehmender Länge abnimmt, d. h. die beobachteten Schwingungsdauern waren bei den kürzeren Flüssigkeitssäulen kleiner, als man nach der Theorie hätte erwarten sollen. Ohne dafs ich bestimmt behaupten kann, dafs dies regelmäfsig der Fall ist — es würde sich dies jetzt leicht prüfen lassen, nachdem einmal die allgemeinen Prinzipien der Theorie entwickelt sind, — will ich doch das Moment angeben, das möglicherweise zur Abweichung von dem Gesetz geführt hat: Es ist möglich, dafs bei diesen verschiedenen Versuchen E' nicht ganz konstant gewesen ist. Bekanntlich spielen die Nachdehnungserscheinungen bei den mechanischen Zuständen des Gummis eine grofse Rolle (s. auch unten S. 508). Sie lassen sich dahin charakterisieren, dafs die elastische Kraft des Gummis nicht nur von der Deformation abhängt, sondern auch von der Zeit, in der die Deformation einwirkt, sie nimmt im Verlauf einer deformierenden Einwirkung ab. Sie wird also bei kurz dauernden Deformationen relativ gröfser sein als bei länger einwirkenden. Wir werden also danach bei den rascheren Schwingungen ein gröfseres E' als wirksam annehmen müssen als bei den langsamer erfolgenden.[1]) Die rascheren Schwingungen werden also relativ zu schnell erfolgen. Es ist nun nicht ausgeschlossen, dafs man auch für diesen Fall eine Korrektur anbringen kann. Jedenfalls ist, wenn unsere Erklärung richtig ist, die Abweichung der Beobachtungs- und Messungsresultate von dem Gesetz nur scheinbar, und man wird es vorläufig als absolut gelten lassen.

Aus unseren Darlegungen kann man unschwer die praktische Folgerung ziehen, dafs eine Verengerung der Manometerröhren auf lange Strecken zu vermeiden ist, da die dadurch

1) v. Kries hat einen ähnlichen Grund für die Abweichungen der aus den Beobachtungen gefundenen Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der Druckwellen in elastischen Schläuchen von den aus der Theorie folgenden angegeben. S. Studien zur Pulslehre. Freiburg 1892. S. 6.

bedingte Vergröſserung der wirksamen Masse durch die Erweiterung des Querschnittes an einer anderen Stelle nicht kompensiert werden kann.

Die vorhergehenden Entwickelungen bleiben gültig, auch wenn die Geschwindigkeit der Flüssigkeit innerhalb eines Querschnittes der Manometerröhre nicht konstant ist.

Die groſse Übereinstimmung der Beobachtungen mit der von uns durchgeführten theoretischen Analyse ermutigt mich dazu, die mathematische Betrachtung nach einer anderen Richtung auszudehnen. Es ist als sicher anzunehmen, daſs die Flüssigkeitsgeschwindigkeit innerhalb eines Querschnitts der Flüssigkeitssäule nicht konstant ist. Wir wissen, daſs dies bei stationärer Strömung nicht der Fall ist. Bei der Strömung, die nach dem Poiseuilleschen Gesetz vor sich geht, ist z. B. die Geschwindigkeit in der Mitte der Röhre doppelt so groſs als die durchschnittliche und an der Wand gleich 0. Ähnliche Abweichungen sind bei jeder stationären Strömung in beschränkten Bahnen beobachtet. Die Abweichungen sind durch die Reibung bedingt. v. Kries hat angenommen, daſs die Abweichungen von der Theorie, die er bei der Prüfung des Quecksilbermanometers gefunden hat, darauf zurückzuführen seien, daſs die Flüssigkeit — das Quecksilber — sich nicht als Ganzes bewege.[1]) Da wir eine so gute Übereinstimmung der Beobachtungsergebnisse mit der Theorie für das mit Flüssigkeit gefüllte elastische Manometer gefunden haben, wollen wir prüfen, ob nicht Fälle denkbar sind, bei denen die Flüssigkeitsgeschwindigkeit nicht, wie unsere bisherige Ableitung vorausgesetzt hat, über den ganzen Querschnitt konstant ist und doch die Schwingungen so erfolgen, als ob die Flüssigkeit in toto sich bewegte, so daſs unsere bisherige einfache Ableitung Geltung behält. Der symmetrischen Verhältnisse halber ist auf jeden Fall anzunehmen, daſs in gleichem Abstand von dem Mittelpunkt des Querschnitts ringsum die gleiche Geschwindigkeit herrscht. Man hat also die Bewegungsverhältnisse eines ringförmigen Elementes von dem Radius y, der Breite dy

1) du Bois-Reymonds Archiv 1878, S. 419.

und der Dicke $\varDelta l$ zu untersuchen. Die dynamische Grundgleichung für die Bewegung des Elementes unter der Einwirkung des auf die Grundfläche wirkenden hydrostatischen Druckes lautet dann gleich:

$$s \cdot dF \cdot \varDelta l \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = \varDelta p\, dF, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{Gl. (13)}$$

wobei dF die Grundfläche des ringförmigen Elements ist. Wir haben nun zunächst über den Querschnitt zu summieren, wobei wir annehmen, dafs diese Summierung nach dem d'Alembertschen Prinzip möglich ist. Die Summierung auf der rechten Seite ist ohne weiteres nur anzuführen, wenn der hydrostatische Druck, bezw. die auf das Scheibchen von der Höhe $\varDelta l$ wirkende Druckdifferenz konstant ist. Weiter ist die Summierung der linken Seite nur dann ermöglicht, wenn für die Verteilung der Geschwindigkeiten über den Querschnitt bestimmte Voraussetzungen gemacht werden. Wir müssen die Geschwindigkeit $\frac{dx}{dt}$, die mit der Zeit wechselt, von t also abhängig ist, aber auch von der Lage des Teilchens in dem Querschnitt, also von y abhängt, in zwei Faktoren zerlegen, einen, der von der Zeit allein abhängt, und einen anderen, der nur von der Lage innerhalb des Querschnitts abhängt. Wir schreiben also für $dx/dt : df/dt \cdot \varphi(y)$. Wir wollen uns nun über die Bedeutung dieser Festsetzung unterrichten. Können wir die Geschwindigkeit nicht in dieser Weise zerlegen, so wird unsere Gleichung zu einer partiellen, deren Summierung in der von uns beabsichtigten Art wahrscheinlich überhaupt nicht[1]), sicher erst nach besonderen Festsetzungen möglich ist. Ist dagegen die Zerlegung möglich, so heifst das, dafs die Geschwindigkeit in einem bestimmten Punkte des Querschnittes stets ein bestimmtes Vielfache der in einem anderen Punkt des Querschnittes herrschenden ist, geradeso wie dies bei der stationären Strömung der Fall ist, die nach dem Poi-

1) Ich habe eine derartige Gleichung für die Schwingungen einer unter dem Einflufs der Schwere in einer U-förmigen Röhre (ähnlich wie bei einem Hg-Manometer) schwingenden Flüssigkeit aufgestellt, bin jedoch auf eine partielle Differentialgleichung dritter Ordnung gestofsen, deren Integrierung mir nicht möglich erscheint.

seuilleschen Gesetz erfolgt. Dies Verhältnis bleibt bestehen, wie grofs auch immer die Geschwindigkeit ist. Am besten geben wir der Funktion $\varphi(y)$ die Dimension 0, d. h. die Funktion stellt eine Reihe von Zahlenfaktoren dar, die allen Punkten des Querschnitts zugeordnet sind. Bestimmen wir die Funktion noch weiter, so dafs ihr gröfster Wert $= 1$ ist, so gibt df/dt die maximale Geschwindigkeit innerhalb des Querschnittes an, die jedenfalls in dem Mittelpunkt des Querschnittes vorhanden ist. Jetzt können wir die linke Seite verwandeln in:

$$s \sum_0^y \varDelta l \, dF \frac{d^2 f}{dt^2} \cdot \varphi(y) = \varDelta p \sum_0^y dF$$

oder da $\frac{d^2 f}{dt^2}$ von y nicht abhängt:

$$s \cdot \varDelta l \frac{d^2 f}{dt^2} \int_0^y \varphi(y) dF = Q \cdot \varDelta p.$$

Nun können wir aber leicht sehen, dafs df/dt, mit dem Integral multipliziert, das in der Zeiteinheit durch den Querschnitt hindurchgetretene Flüssigkeitsvolumen ergibt, denn $\varphi(y) \cdot df/dt$ ist die an jedem Punkt des Querschnittes herrschende Geschwindigkeit, ihr Produkt mit dem Querschnittelement gibt die durch dieses Element in der Zeiteinheit strömende Flüssigkeitsmenge, und das Integral die durch den ganzen Querschnitt strömende Menge. Wir wollen das Integral $\int_0^y \varphi(y) \, dF$ als $F(\varrho)$ bezeichnen, da es nur von der Gröfse des Radius ϱ des Querschnitts abhängt. Wenn wir weiter annehmen, dafs für jeden Querschnitt, welche Gröfse er auch besitze, $f \cdot F(\varrho)$ gleich dem in der Zeiteinheit durch ihn hindurchtretenden Volum V ist, d. h., wenn wir annehmen, dafs die Art der Verteilung der Geschwindigkeiten über den Querschnitt von der Gröfse des Querschnittes gänzlich unabhängig ist, so können wir auch auf der linken Seite die Summierung über den Querschnitt vornehmen, wobei wir uns erinnern, dafs df/dt bezw. d^2f/dt^2 unabhängig von der Lage in dem Querschnitt ist. Unsere Gleichung wird dann zu:

$$s \varDelta l \frac{d^2 f}{dt^2} \cdot F(\varrho) = s \varDelta l \frac{d^2 V}{dt^2} = Q \cdot \varDelta p. \quad . \quad \text{(Gl. 14)}$$

Dividieren wir auf beiden Seiten durch Q, so können wir nun auch die Summierung über die Länge der Flüssigkeitssäule vornehmen, und wir erhalten:

$$s \cdot \frac{d^2 V}{dt^2} \sum_0^L \frac{\Delta l}{Q} = -E' V,$$

d. h. denselben Ausdruck wie zuvor (s. Gl. 10). Es ist wohl sicher, dafs die Möglichkeit, das d'Alembertsche Summierungsprinzip anzuwenden, ihre Grenze in unseren letzten Entwickelungen findet. Durch unsere Auseinandersetzungen konnten wir aber doch zeigen, dafs unsere anfangs entwickelten Formeln auch dann ihre analytische Begründung finden, wenn die nebeneinanderliegenden Flüssigkeitsschichten sich mit verschiedener Geschwindigkeit bewegen. Die zuerst abgeleiteten Formeln waren, das mufs ausdrücklich bemerkt werden, unter ähnlichen Voraussetzungen abgeleitet, unter denen die Formel für die Schallgeschwindigkeit in Röhren abgeleitet wird, haben also in dieser Beziehung dieselbe Berechtigung wie diese. Unsere Erweiterung betraf die Erörterung des Falles, dafs zwar verschiedene Geschwindigkeit in den verschiedenen Bezirken des Querschnittes herrscht, dafs aber die Verteilung der Geschwindigkeiten dieselbe bleibt wie bei den stationären Strömungen. Die Verteilung ist bei den nach dem Poiseuilleschen Gesetze vor sich gehenden stationären Strömungen so, dafs die Geschwindigkeiten, auf den Durchmesser der Röhre aufgetragen, eine Parabel bilden, d. h. $\frac{dx}{dt}$ wäre dann $= \frac{df}{dt} \cdot \frac{\varrho^2 - y^2}{\varrho^2}$ und $\varphi(y) = \frac{\varrho^2 - y^2}{\varrho^2}$. Bekanntlich nimmt man an, dafs dieselbe Verteilung der Geschwindigkeiten auch bei weiteren Röhren oder auch in Kanälen stattfindet, bei denen im übrigen das Poiseuillesche Gesetz nicht mehr gültig ist.

Da nun aber unsere Versuche die Richtigkeit unserer Formeln erwiesen haben, so darf man umgekehrt vielleicht den Schlufs ziehen, dafs man bei derartigen kleinen Flüssigkeitsgeschwindigkeiten, wie sie bei unseren Versuchen vorhanden waren, immer die Flüssigkeiten als sich in toto bewegend ansehen darf, d. h., dafs man in solchen Fällen eine Summie-

rung nach dem d'Alembertschen Prinzip vornehmen kann. Ich werde später auf diese Erscheinungen zurückkommen. Vielleicht steht das hier Entwickelte auch in einer gewissen Beziehung zu der Helmholtzschen Lehre von den Flüssigkeitsstrahlen.

Es schien mir durchaus notwendig, die durch das Experiment erhaltenen Ergebnisse so weit als möglich theoretisch zu begründen, damit das Vertrauen in sie nach jeder Richtung gesichert werde.

Durch die ungleichen Geschwindigkeiten der Flüssigkeiten innerhalb eines Querschnittes erlangt die Oberfläche der Flüssigkeitssäule eine andere Form als in der Ruhe, es werden durch diese Deformationen Veränderungen der Oberflächenspannungen erzeugt, die unter Umständen eine Veränderung des Schwingungsmodus bedingen könnten. Hält man die Oberflächenquerschnitte der Flüssigkeiten gehörig weit, so kommen, wie ganz allgemein bei unseren Versuchen, die Kräfte nicht in Betracht. Ich halte es daher nicht für nötig, hier näher diese Verhältnisse zu beleuchten. Dagegen scheint mir die Veränderung der Form der Oberfläche infolge der ungleichen Geschwindigkeiten der Schichten bei dem Quecksilbermanometer eine bedeutende Rolle zu spielen. Es wird sich wohl noch eine Gelegenheit finden, hierauf zurückzukommen.

Hinzufügen will ich noch, dafs bei den Schwingungen von Flüssigkeiten in Uförmigen Röhren unter dem Einflufs der Schwere die Schwingungsdauer weder von dem Querschnitt noch von dem spezifischen Gewicht der Flüssigkeit abhängig ist, wenn man von der Dämpfung absehen kann. Sie ergibt sich nämlich gleich: $\pi \sqrt{\frac{2l}{g}}$ . . . . (Gl. 15)
Solche Flüssigkeitssäulen sind die gewöhnlichen Quecksilber- oder Wassermanometer. Dies zur Vermeidung von etwaigen Mifsverständnissen.

Form der deformierten Membran. Feststellung von E' durch die Volumeichungen. Einflufs der Nachdehnung auf die Eichung.

Über die Wirkung der Massen in den komplizierten Röhrenverbindungen, wie sie bei Bestimmungen des Blutdrucks im

lebenden Körper verwendet werden, habe ich weiter unten noch einiges zu sagen. Vorher will ich den Einfluſs der Gröſse des Elastizitätskoeffizienten auf die Schwingungsdauer erörtern. Nach unserer Formel ist die Schwingungsdauer indirekt proportional der Wurzel aus dem Elastizitätskoeffizienten E' (s. Gl. 8). Wir haben unter diesem Koeffizienten den Druckzuwachs, der bei der Ausbauchung der Membran um die Volumeinheit auftritt, zu verstehen. Oder strenger müſsen wir ihn definieren als den Druckzuwachs, der unter hydrostatischen Verhältnissen bei dem Durchtritt der Volumeinheit Flüssigkeit durch den Anfangsquerschnitt der Röhre — den dem Manometer zunächst liegenden — erzeugt wird. Wir wollen in Zukunft immer die Bestimmung des Koeffizienten auf diesen Querschnitt beziehen. Die Wahl dieses Querschnittes wird sich später rechtfertigen.

Wir können nun den Elastizitätskoeffizienten aus der gewöhnlichen Eichung durch Berechnung der Volumverschiebungen aus den Verschiebungen des Stiftes ermitteln. Diese Methode führt jedoch im allgemeinen nicht zu richtigen Werten, hauptsächlich weil wir über die Form der deformierten Membran nicht genau unterrichtet sind und weil ein nicht zu bestimmendes Quantum Luft noch in der Manometertrommel zurückbleibt. Aus verschiedenen Gründen erscheint es mir richtig, diese Beziehungen näher zu erörtern. Es hat zunächst theoretisches Interesse, die Form der deformierten Membran kennen zu lernen. Weit wichtiger ist es aber, daſs unsere Darlegungen praktische Anwendungen ermöglichen; so werden sie bei der Berechnung des Einflusses der Masse der Membran, des Stiftes und auch der Hebel von Nutzen sein. Auch für die Auswahl der Membranen und ihre Befestigungsweise können wir Folgerungen ziehen.

Wenn man auch darauf verzichten muſs, die Gröſse von E' aus den allgemeinen Elastizitätsgesetzen abzuleiten, kann man doch einige elementare Betrachtungen anstellen, die zu einem besseren Verständnis der Momente, welche auf die Gröſse von E' Einfluſs haben, dienen können. Man wird sich zunächst über die Form klar werden müssen, welche die deformierte Membran unter dem Einfluſs eines auf sie wirkenden hydrostatischen Drucks

annimmt. Dann wird man die Beziehungen des Dehnungsgesetzes des Gummis zu dem Koeffizienten E' zu betrachten haben.

Die Form der Membran läſst sich nicht allgemein ableiten. Wir müssen hier Experiment und theoretische Entwicklungen zusammenwirken lassen, um zu einem Entscheid zu kommen. Man könnte zunächst daran denken, daſs die Membran die Form einer Kugelkalotte annimmt. Derartige Annahmen werden gewöhnlich als die einfachsten bei der Erörterung solcher Verhältnisse zuerst gemacht. Ich glaube jedoch, daſs diese Annahme weder den tatsächlichen Verhältnissen entspricht, noch auch bei der etwaigen Verwertung der Annahme zu weiteren Entwicklungen und Rechnungen als die einfachste anzusehen ist. Sieht man eine durch einen hydrostatischen Druck nur schwach deformierte Membran etwas genauer an, so zeigt sich, daſs die Krümmung der Membran durchaus nicht gleichmäſsig ist. In der Mitte erscheint sie stärker gekrümmt als am Rande. Ihr meridionaler Durchschnitt, oder, wie wir in Anlehnung an die Lehre von der Biegungselastizität sagen wollen, die Biegungslinie, nimmt die Form eines flachen Ω an. Dieselbe Form, welche die weichelastische Gummimembran erhält, hat aber nun eine sogenannte hartelastische, am Rand eingespannte Platte, die sich unter dem Einfluſs eines hydrostatischen Drucks deformiert. Nach Föppl, technische Mechanik, Bd. III, S. 265, dem ich die Angaben hierüber entnehme, lautet die Gleichung der Biegungslinie einer solchen Platte: $x = \frac{f(y^2 - \varrho^2)^2}{\varrho^4}$, wobei ϱ des Radius der Membran ist. Ich habe den Wert für die Gröſse der Verschiebung der Mitte oder den Biegungspfeil f in die Formel eingesetzt. Wir können die Gröſse der Volumausbauchung der Membran leicht berechnen als das Integral:

$$f \cdot F(\varrho) = f \int_0^{\varrho} 2\,\pi\, y \cdot \frac{(y^2 - \varrho^2)^2}{\varrho^4}\, dy = f \cdot \frac{\varrho^2 \pi}{3}.$$

Dies Integral schreibe ich absichtlich in derselben Form wie oben (S. 495) an, weil es später zu ähnlichen Betrachtungen wie den dort gepflogenen verwendet wird. Nach dieser Formel können

wir leicht aus der Gröfse der Verschiebung f des mittleren Punktes der Membran = der Verschiebung des auf die Membran aufgeklebten Stiftes die Gröfse der Volumverschiebung berechnen. Wird die Membran stets nach dieser Gleichung deformiert, so bleibt das Verhältnis der Volumverschiebung zu der Verschiebung des Stiftes stets konstant, nämlich gleich $F(\varrho) = \frac{\varrho^2 \pi}{3}$.

Wäre die Form der deformierten Membran eine Kugelkalotte, so wäre die Membranausbauchung oder die Volumverschiebung als der Inhalt der Kalotte nach der Formel zu berechnen:

$$V = \pi h \left(\frac{\varrho^2}{2} + \frac{h^2}{6}\right).$$

Man sieht nun leicht, dafs, wenn die Verschiebung des Stiftes nur klein gegenüber dem Radius ist, die Formel für den Inhalt der Kalotte in eine andere übergeht, in den Wert eines über dem Querschnitt ausgespannten Paraboloids von der Höhe des Biegungspfeils f. Der Inhalt eines derartigen Paraboloids ist nämlich gleich $f\frac{\varrho^2 \pi}{2}$. Setzen wir nun fest, dafs der Biegungspfeil niemals mehr als 20% des Radius der Manometertrommel betragen soll, eine Festsetzung, die notwendig ist, um Überdehnungen des Gummis zu vermeiden, so unterscheidet sich der Inhalt des Paraboloids um höchstens 4% von demjenigen einer Kugelkalotte. Bei dem Paraboloid ist ebenso wie bei der elastischen Fläche der Platte (s. oben) das Verhältnis des Inhaltes zu der Höhe oder das Verhältnis der Volumverschiebung zu der Stiftverschiebung konstant, gleich unserem $F(\varrho)$, nämlich gleich $\frac{\varrho^2 \pi}{2}$. Wäre die deformierte Membran eine Kugelkalotte, so wäre es nicht konstant, sondern würde mit wachsendem Biegungspfeil zunehmen. (Vergl. Differenzierung des Inhaltes der Kalotte nach f.) Diese Zunahme würde bei unserer Festsetzung über den relativen Betrag der Höhe der Kalotte höchstens 10% gegenüber dem niedrigsten Wert, der identisch mit dem analogen für das Paraboloid ist, erreichen. In den von mir unten zusammengestellten Experimenten wird die Zunahme 6% nicht überschreiten. Wir

sehen also, dafs sich bei unserer Festsetzung die Kalotte praktisch so verhält wie das Paraboloid und brauchen sie deshalb bei unseren Berechnungen nicht in Betracht zu ziehen.

Wenn wir die Ergebnisse unserer Experimente, die wir unten besprechen werden, zu der Lösung der Frage nach der Natur der Membrandeformation heranziehen wollen, ist noch ein Umstand zu berücksichtigen, den wir leider bei unseren Versuchen bis jetzt nicht vermeiden konnten, und der eine gewisse Unsicherheit in unsere folgenden Berechnungen hineinträgt. Es konnte, wie ich schon oben erwähnte (s. S. 481), bis jetzt nicht erreicht werden, dafs die Manometertrommel ganz mit Flüssigkeit gefüllt ist. Eine gewisse Menge Luft blieb stets in dem Manometer zurück, teils in dem kurzen senkrechten Röhrenstück, das zu der eigentlichen Trommel führt, teils in dem Raum direkt unter der Membran. Die Volumverschiebung in dem Anfangsquerschnitt dient also nicht allein dazu, die Ausbauchung der Membran zu vermitteln, sondern auch zur Kompression der kleinen Luftblase in der Trommel. Die Gröfse der Luftblase bei den einzelnen Anordnungen können wir nicht vollständig genau ermitteln. Vor jedem Versuch wurde durch die horizontalen Ansatzröhren der Manometertrommel Flüssigkeit in lebhaftem Strom geleitet. Es ist sicher, dafs durch die so entstehenden Wirbel ein Teil der Luftblase aus dem toten Raum an der Seite mitgerissen wird, denn die Innenfläche der Membran zeigte sich nach dem Versuch stets feucht, wenn sie auch nicht direkt von dem Flüssigkeitsstrom erreicht wurde. Im allgemeinen bleibt aber noch ein gewisser Rest Luft zurück. Würde man das Volum dieser Luft kennen, so könnte man nach dem Mariotteschen Gesetz aus der Steigerung des Drucks über dem Barometerdruck die Volumverschiebung berechnen, die zu der Kompression der eingeschlossenen Luftblase nötig war. Ich habe nun, um eine annähernde Schätzung dieser Volumverschiebung zu ermöglichen, bei den folgenden Berechnungen die Annahme gemacht, dafs die Luftblase den ganzen seitlichen toten Raum erfüllte. Der Raum betrug nach einer annähernden Rechnung für die Manometertrommel mit einem Radius von 0,37 cm 0,057 ccm, für die Trommel

von 0,49 cm Radius: 0,097 ccm. Die Volumverschiebungen, die durch die Kompression dieser Luftblase hervorgerufen werden, sind in der Spalte 4 der folgenden Tabelle 5, ebenso wie alle anderen Volumina in $^1/_{100}$ ccm angegeben. Wir werden sehen, dafs diese annähernde Schätzung vollständig genügt, um die gewünschten Schlüsse folgern zu können.

Die Volumverschiebungen habe ich dadurch bestimmt, dafs ich eine in 0,01 ccm geteilte Kapillare an das Manometer ansetzte, durch eine Spritze die Flüssigkeit in das Manometer eintrieb und zugleich den Druck durch ein seitlich angebrachtes Hg-Manometer bestimmte. Sie sind in Spalte 3 angegeben. Als korrigiertes Volum (Spalte 6) bezeichne ich in der Tabelle die gemessenen Volumverschiebungen nach Abzug der Luftkompressionen. Unter der Aufschrift: »elastische Linie« (Spalte 5) sind die Gröfsen der Ausbauchungen der Membran gegenüber der Ruhelage in $^1/_{100}$ ccm berechnet unter der Annahme, dafs die Biegungslinie der elastischen Fläche nach der Funktion: $x = f\,\frac{(y^2 - \varrho^2)^2}{\varrho^4}$ gestaltet sei, unter der Aufschrift Paraboloid (Spalte 7) dieselben Gröfsen für das Paraboloid als Form der deformierten Membran berechnet. Alle Zahlen der Tabelle 5 beziehen sich auf Versuche mit der eingespannten Membran.

Man sieht aus der Tabelle, dafs die korrigierten Volumina, welche die Gröfse der Ausbauchung der Membran darstellen, den Kubaturen der Paraboloide sehr nahe stehen. Eine Ausnahme bildet eigentlich nur der Versuch vom 11. VI. Hier liegen die korrigierten Volumina sogar noch unterhalb der Kubaturen der elastischen Fläche. Vermutlich ist das in dem Manometer zurückgebliebene Luftquantum zu grofs geschätzt worden, wie dies ja im allgemeinen nach den vorausgehenden Bemerkungen der Fall sein wird, wenn man die Manometerröhren sorgfältig füllt. Doch ist die Differenz so grofs, dafs man annehmen mufs, dafs die Form der deformierten Membran wirklich derjenigen der elastischen Fläche nahe stand. Dies ist auch begreiflich, weil zu diesem Versuch die enge Manometertrommel mit sehr dicker Gummimembran verwendet worden ist. Die übrigen Zahlen stehen aber denen für

Tabelle 5.

Membran eingespannt s. Fig. 2.

Stiftverschiebungen in 1/100 cm. Volumverschiebungen in 1/100 ccm.

	1 Druck	2 Stift	3 Volum gemess.	4 Luft	5 Elast.-Linie	6 Volum korrig.	7 Parabol.	8 Vol./Stift $= R$	9 korrig. V./St.[1])
	cm								
9. VI. 02	ca. 2	3,64	0,85	0,15		0,71	0,76		
$\varrho = 0{,}37$ cm	4	7,28	1,81	0,30		1,51	1,52	0,236	0,22
	8	10,9	3,01	0,58		2,43	2,28	0,329	0,26
11. VI. 02	6	3,63	0,77	0,44	0,51	0,33	0,76		
$\varrho = 0{,}37$ cm	12	7,24	1,64	0,85		0,79		0,24	0,13
	20	10,9	2,61	1,24	1,52	1,37	2,28	0,27	0,15
12. VI. 02	2	3,66	1,47	0,27	0,90	1,20	1,35		
$\varrho = 0{,}49$ cm	6	7,43	3,05	0,76	1,83	2,29	2,75	0,42	0,29
	8	10,9	4,51	0,98	2,67	3,53	4,02	0,42	0,36
	14	14,4	6,64	1,58	3,55	5,06	5,34	0,61	0,44
25. VI. 02	4	2,98	1,65	0,52	0,73	1,13	1,11		
$\varrho = 0{,}49$ cm	8	4,80	2,60	0,98	1,18	1,62	1,77	0,52	0,27
	12	6,43	3,52	1,38	1,58	2,14	2,38	0,57	0,32

das Paraboloid berechneten viel näher, so daſs man im allgemeinen, wenn die Membran nicht zu dick ist im Verhältnis zu ihrer Fläche, die Form der Deformation der Membran als ein Paraboloid ansehen kann. Die in diesen Experimenten gebrauchten Membranen waren undeformiert (d. h. durch hydrostatischen Druck) sehr wenig gespannt. Man sieht auch, daſs sich die Form der Membran bei den höheren Drucken immer mehr derjenigen eines Paraboloids nähert. Wenn dies noch nicht unmittelbar aus dem Vergleich der Volumina ersichtlich sein sollte, so geben die letzten Spalten 8 und 9 der Tabelle sicheren Aufschluſs hierüber. Sie zeigen nämlich, daſs das Verhältnis der Änderung der Volumverschiebung zu der Zunahme der Stiftverschiebung, das $\frac{\varDelta V}{\varDelta f}$, mit wachsender Ausbauchung der

1) $\frac{\varDelta V}{\varDelta f}$ der Spalte 9 müſste theoretisch gleich dem $F(\varrho)$ sein:

$F(\varrho)$ bei Manometerradius = 0,37 cm für elast. Linie: 0,1395
für Paraboloid: 0,2093
0,49 cm für elast. Linie: 0,2463
für Paraboloid: 0,4695

Membran zunimmt und zwar sowohl für die unkorrigierten als auch für die korrigierten Volumina. Wäre die Form der deformierten Membran fortwährend diejenige einer elastischen Fläche oder ein Paraboloid, so müfste dieses Verhältnis konstant bleiben. Findet dagegen ein Übergang von der einen zu der anderen Form bei wachsender Ausbauchung statt, so mufs das Verhältnis, wie es bei unseren Versuchen der Fall war, zunehmen. Nach unserer obigen Bemerkung erscheint die Form der Membran in der Tat bei niedrigen Drucken einer elastischen Fläche ähnlich zu sein (s. S. 499). Die Zunahme kann auf keinen Fall dadurch erklärt werden, dafs man annimmt, die Membran bilde eine Kugelkalotte, denn in diesem Falle wäre die Zunahme bei der beschränkten Ausbauchung der Membran, die bei unseren Versuchen stattgefunden hatte, durchaus nicht so grofs, wie wir sie gefunden haben. Sollte wirklich bei den höheren Deformationen die Membran streng die Form einer Kalotte annehmen, so müfste sie, von der Form der elastischen Fläche ausgehend, doch eine paraboloide Form durchlaufen, denn das Paraboloid steht in Bezug auf die Gröfse des Inhalts in der Mitte der Reihe. Nach alledem können wir die Form der deformierten Membran als diejenige eines Paraboloids betrachten, und nur für die schwächeren Ausbauchungen von dicken Membranen nähert sie sich einer elastischen Fläche.

Zugleich sehen wir aber auch, dafs es wenigstens für das Manometer, in dem sich noch etwas Luft befindet, nicht möglich ist, aus der Verschiebung des Stiftes auf die Gröfse der Volumverschiebung mit Sicherheit zu schliefsen, und dafs es immerhin, wenn man den Vergleich zwischen den Ergebnissen des Experimentes und der Theorie näher ziehen will, nötig erscheint, eine Eichung der Volumverschiebungen neben der Feststellung der Stiftverschiebungen unmittelbar vorzunehmen.

Bei den Membranen, die auf die Trommel aufgebunden sind, ist wohl eine derartige (s. d. folgende Tabelle 6) eindeutige Inkongruenz zwischen der Volum- und der Stiftverschiebung nicht zu konstatieren. Hier verhindert aber die Unregelmäfsigkeit der Form der deformierten Membran, bei deren Deformation immer

Tabelle 6.

$\Delta V/\Delta f$ für aufgebundene Membran.

Druck	10. Juli [1]	20. Juli [1]	25. Juli	7. August
0—1	2,61		0,803	0,496
1—2	2,45	1,84	0,898	0,531
2—4	2,44	1,96	0,747	0,394
4—6	2,31	1,83	0,647	0,448
6—8	2,51	1,90	0,688	0,448
8—10	2,61	1,92	0,635	0,476
10—15			0,654	0,531
15—20			0,750	0,504
20—25			0,583	

gröfsere Stücke in die Veränderung der Gestalt einbezogen werden, eine genauere Berechnung. Doch dürfte immerhin die angenäherte Proportionalität zwischen Stift- und Volumverschiebung bei den Korrekturen der Kurven von Nutzen sein, wie sich später noch ergeben wird.

Es fragt sich nun, wie sich das Dehnungsgesetz des Gummis bei der Wirkung des hydrostatischen Druckes geltend macht. Man kann bei dieser Untersuchung von der Betrachtung der Deformation einer hartelastischen Platte durch einen hydrostatischen Druck ausgehen, der ja, wie wir gesehen haben, die Veränderung der Form unserer Gummimembran bis zu einem gewissen Grade ähnlich ist. Nach Föppl, Technische Mechanik Bd. III. S. 265, ist bei dieser Deformation der Elastizitätsmodul, der zunächst bei den Grundannahmen, die zur Aufstellung der Formel in Föppels Mechanik geführt haben, als konstant vorausgesetzt worden ist, für die also das Hooksche Gesetz gelten soll, proportional dem auf die Membran ausgeübten hydrostatischen Druck und umgekehrt der Gröfse des Biegungspfeils. Bei unserem Material, dem Gummi, das dem Hookschen Elastizitätsgesetz durchaus nicht folgt, würde, wenn sich diese Betrachtungen übertragen lassen, was bei den geringen Deformationen, die wir überhaupt zugelassen haben, in erster Annäherung sicher der Fall ist, der wechselnde Elastizitätsmodul (der reziproke Wert der

1) In Einheiten, wie sie die Kurven gerade ergeben haben, ausgedrückt.

Dehnbarkeit) dem Verhältnis der Druckzunahme zu der Stiftverschiebung $= \frac{\varDelta p}{\varDelta f}$ für ein kleines Druckintervall proportional sein. (Man mufs dabei von den Veränderungen der Gröfse *m* [s. Föppl S. 265] durch die wachsende Spannung absehen, was man ebenfalls ohne Bedenken tun kann.) Nun ist weiter die Gröfse des Biegungspfeils nach unseren obigen Darlegungen in erster Annäherung bei unserer Manometermembran der Gröfse der Ausbauchung proportional. Dieser Satz heifst also nichts anderes, als dafs sich das Dehnungsgesetz für den Gummi in der Form der Abhängigkeit des Elastizitätskoeffizienten E' von dem hydrostatischen Druck im grofsen Ganzen wieder findet.

Das Dehnungsgesetz für den Gummi besagt, dafs er, ähnlich wie der Muskel, mit wachsender Spannung immer weniger dehnbarer wird. Die Abnahme der Dehnbarkeit oder die Zunahme des Elastizitätsmoduls (im weiteren Sinn) geht zuerst sehr schnell mit wachsender Spannung vor sich, wird dann aber immer geringer, um schliefslich für ein gröfseres Spannungsintervall bei mittleren Werten der Spannungen nahezu konstant zu werden. (Später, in der Nähe der Festigkeitsgrenze des Gummis, ändert sich die Form der Dehnungskurve wiederum.) Wollen wir daher erreichen, dafs unser Elastizitätskoeffizient E' konstant bleibt, oder was annähernd dasselbe ist, der Ausschlag des Manometers für einen bestimmten Druckunterschied in einem gröfseren Bereich der Drucke konstant wird, so müssen wir die Zustände des Gummis in einem mittleren Bereich der Dehnungskurve verwerten, wir müssen also den Gummi mit beträchtlicher Spannung auf die Manometertrommel aufspannen. Wie grofs die Spannung sein mufs, wird sich vielleicht aus der Dehnungskurve der betreffenden Gummiplatte noch zahlenmäfsig ermitteln lassen.

Diese Forderung[1]) zu erfüllen, ist mir, besonders bei den dicken eingespannten Membranen, nicht gelungen. Hat man die Membran stark gespannt zwischen die zwei sie festhaltenden Metallscheiben gebracht, so läfst, wenn man die beiden Metall-

1) Damit der Forderung eines konstanten E' für das Manometer genügt werde, bin ich im Begriff, ein Manometer von der Form des Indikators der Dampfmaschinen für Blutdruckversuche zu konstruieren.

scheiben zum Zwecke der Dichtung durch Schraubendruck aufeinanderpreſst, durch die Pressung, bezw. das Ausweichen des Gummis nach der Mitte der Membran, die Spannung beträchtlich nach, und es gelangen dann die Dehnungszustände der Membran in dem Anfangsbereich der Dehnungskurve zur Verwendung, d. h. der Elastizitätskoeffizient E' nimmt mit wachsenden Drücken stark zu, wie folgende Zusammenstellung für den Versuch vom 12. VI. zeigt: E' für 0 cm Hg. : 1347

2 » » : 1685

5 » » : 1987

10 » » : 2068.

Die Verschiedenheit des Koeffizienten in diesem Bereich ist bei allen Versuchen sehr groſs, bei denen die Membran eingespannt war, dagegen zeigt sie sich nicht, oder wenigstens nicht in dem Maſse und nicht mit der Regelmäſsigkeit der Veränderung in dem benutzten Bereich bei den Membranen, die über die Trommel in der gewöhnlichen Weise gespannt waren, s. z. B. Versuch 10. VII: E' für den Druck 0 : 1919,

für den Druck 9 cm Hg 2123.

Wenn sich vielleicht hier eine Regelmäſsigkeit auffinden läſst, so ist es die, daſs E' zunächst bei steigendem Drucke ab-, dann aber bei den höchsten Drücken wieder zunimmt. Es vermischen sich hier zwei Einflüsse: die Abnahme der Dehnbarkeit des Gummis mit steigenden Drucken und die Einbeziehung immer mehr peripher gelegener Teile der Membran in die Deformation.

Unsere Darlegungen haben wohl einige Winke gegeben, die für die praktische Verwertung von Gummimembranen zu Manometern nützlich sind, sie haben aber auch gezeigt, daſs sich für unseren jetzigen Zweck eine genaue Eichung der Volumverschiebungen unter bestimmten Druckveränderungen nicht umgehen läſst. Diese Eichungen wurden mit in der oben geschilderten Weise mit einer genau eingeteilten Kapillare gemacht. Verschiedene Umstände erschweren diese Eichungen sehr. Zunächst stellt diese Volumeichung der Elastizitätskoeffizienten $E' = \frac{\Delta p}{\Delta V}$ viel gröſsere Anforderungen an die Dichtigkeit der Membranen

als die gewöhnliche Eichung der Ausschläge $f = \frac{\Delta p}{\Delta f}$ des Manometers. Hier sind geringe Undichtigkeiten belanglos. Ganz wesentlich wird aber die Eichung durch die Nachdehnung des Gummis beeinflufst. Während die Nachdehnungserscheinungen, die hauptsächlich bei organischen Stoffen auftreten, schon lange bekannt sind, und ihr Einflufs auf die Ausschläge elastischer, in der Technik und von den Physikern gebrauchten Manometern schon länger diskutiert worden ist, hat, so viel ich sehen kann, zuerst Hürthle[1]) diese Erscheinungen bei den elastischen Manometern, die zu physiologischen Zwecken verwendet werden, untersucht. Eine genauere Analyse des Einflusses auf die Angaben der Manometer ist bis jetzt noch nicht gegeben worden. Ich mufs mir die Diskussion dieser Verhältnisse für später aufsparen. Unterdessen gebe ich die Zahlen eines Versuchs an, bei dem ich bei dem zunehmenden und absteigenden Drucken die Volumverschiebungen abwechselnd geeicht habe. Sie zeigen die Erscheinung deutlich. (Tab. 7.)

Tabelle 7.

Eichung am Schlufs des Versuches 7. VIII. Volumina in $\frac{1}{100}$ ccm.

cm Hg	↓	↑	↓	↑	Mittel	C'
—2—0		0,1400				
0—1	0,2000	0,1600	0,2580	0,2467	0,2162	6150
1—2	0,2000	0,2200	»	»	0,2312	5780
2—4	0,2000	0,2500	»	»	0,2387	5565
4—6	0,3175	0,2850	»	»	0,2763	4813
6—8	0,2413	0,2775	»	0,2775	0,2636	5040
8—10	0,2413	0,2775	»	0,2775	0,2636	5040
10—15	0,2640	0,2480	0,2480	0,2600	0,2550	5210
15—20	0,2280	0,2080	0,2320	0,2140	0,2205	6040

Auf eines möchte ich jedoch aufmerksam machen. Während hier die in den verschiedenen Richtungen erfolgenden Eichungen ziemlich verschiedene Werte ergeben, was jedenfalls von der verschiedenen Länge der Zeit abhängt, in der die Kraftverminderung durch die Nachdehnung gewirkt hat, ist, wie mich viele

1) S. Tschuewsky, Vergleichende Bestimmung der Angaben des Quecksilber- und des Federmanometers. Pflügers Archiv Bd. 72 S. 587.

Messungen belehrt haben, die in aufeinander folgenden Versuchen erhaltene Schwingungsdauer der Schwingungen bei sonst ungeänderten Verhältnissen nahezu absolut konstant. Wir haben also in der Schwingungsdauer ein sicheres und bestimmteres Anzeichen für die Größe der Dehnbarkeit E' der Membran oder auch für den Ausschlag $\frac{\Delta p}{\Delta f}$ derselben, als wir es durch die gewöhnlichen Eichungen erhalten. Ich glaube bestimmt, daſs sich auf diese Eigenschaft ein korrekteres Verfahren zur Eichung der Manometer gründen läſst als das bisher geübte. Die in der Technik und der Physik schon öfter angewendete und von Hürthle auch für die physiologischen Manometer empfohlene dynamische Eichung kann im besten Falle zu einer genaueren Bestimmung der mittleren Druckwerte einer periodischen Druckänderung führen, während aus der Analyse des ganzen Verlaufs der Schwingungen der Einfluſs der Nachdehnung auf den ganzen Verlauf ähnlich gearteter periodischer Druckschwankungen wohl hervorgehen kann.

Einfluſs von E' auf die Schwingungsdauer.

Wenn auch nach diesen Darlegungen, die ich vorläufig nicht weiter ausspinnen will[1]), die Volumeichungen keine gröſsere Genauigkeit der Werte für E' als vielleicht 5% erreichen lassen, so ist die Bestimmung doch hinreichend genau, um das Gesetz der Abhängigkeit der Schwingungsdauer von der Gröſse von E' sicher erkennen zu lassen.

Der Einfluſs der Nachdehnungen wird sich bei den Schwingungsversuchen, wie wir schon oben erwähnt haben, darin äuſsern, daſs die beobachtete Schwingungsdauer gegenüber der berechneten verkürzt erscheint, denn das durch die Eichungen gemessene E' ist wegen der in diesem Falle länger wirkenden Nachdehnung kleiner als das die Schwingungsdauer beeinflussende. Wenn dies nicht bei allen Versuchen klar hervortritt, so liegt es an den anderen Ungenauigkeiten der Bestimmung von E'.

1) S. auch unten über den dämpfenden Einfluſs der Nachdehnung.

Ich stelle wieder in der folgenden Tabelle einige zum Vergleich geeignete Versuchsdaten zusammen. (Tab. 8.)

Tabelle 8.

	Druck	T	E'	$\sqrt{E'}$	$T\sqrt{E'}$
9. VI. I. 1.	0	7,807	1974	1405	109,7
II. 1.	6	4,102	5615	2370	97,2
I. 2.	0	5,820	1974	1405	81,7
II. 2.	6	3,058	5615	2370	72,4
I. 4.	0	3,540	1974	1405	49,7
II. 4.	6	1,921	5615	2370	45,5
12. VI. I. 3.	0	3,562	1817	1347	47,9
II. 3.	5	2,634	3947	1987	52,5
I. 4.	0	4,455	1817	1347	60,0
II. 4.	7	2,970	4045	2012	59,7
I. 5.	0	5,560	1817	1347	74,9
II. 5.	8	3,900	4105	2026	79,2
I. 6.	0	8,125	1817	1347	109,3
II. 6.	10	5,190	4270	2068	107,2
23. VI. I. 3.	0	4,083	1523	1235	50,4
II. 3.	10	2,274	5720	2390	54,4
I. 4.	0	7,209	1523	1235	89,1
II. 4.	10	3,789	5720	2390	90,5
I. 5.	0	9,616	1523	1235	118,8
II. 5.	10	4,955	5720	2390	118,6
I. 6.	0	13,75	1523	1235	170,0
II. 6.	10	6,792	5720	2390	162,2
I. 7.	0	16,72	1523	1235	206,8
II. 7.	10	8,105	5720	2390	193,8
25. VI. I. 1.	0	15,5	1523	1235	191,8
II. 1.	10	8,19	5720	2390	195,9
I. 3.	0	13,14	1523	1235	162,5
II. 3.	10	6,58	5720	2390	157,4
I. 4.	0	20,9	1523	1235	258
II. 4.	10	9,94	5720	2390	238
10. VII. I. 1.	0	9,58	1914	1385	132,5
II. 1.	10	8,78	2123	1457	128
I. 3.	0	11,95	1914	1385	165,4
II. 3.	10	11,36	2123	1457	165,6
20. VII˙ I. 1.	0	10,15	2332	1528	155,0
II. ˉ.	0	9,21	2830	1682	154,7

Die Möglichkeit, die Veränderung der Schwingungsdauer unter dem alleinigen Einfluſs der Gröſse von E', dem Elastizitätskoeffizienten, zu untersuchen, wurde dadurch gegeben, daſs E' bei ein und derselben Membran in den verschiedenen Regionen des ganzen Druckbereichs so auſserordentlich wechselte, wie oben auseinander gesetzt wurde. Wir sehen aus der Tabelle, daſs er bei derselben Membran beinahe um das Vierfache wechseln konnte. In der Tabelle sind immer je zwei aufeinander folgende Werte von T miteinander zu vergleichen. Es sind die Werte von T bei Schwingungen, die jeweils in einem verschiedenen Druck-Bezirk ausgeführt worden sind, dessen Lage in der zweiten Spalte in cm Hg angegeben worden ist, bei denen im übrigen die gleichen Bedingungen: M' = konstant eingehalten worden sind. Um die Beurteilung der Übereinstimmung der experimentellen Ergebnisse mit der Theorie zu ermöglichen, habe ich in der letzten Spalte der Tabelle den für die Gültigkeit des Gesetzes charakteristischen Faktor angegeben. Es ist das Produkt: $T\sqrt{E'}$. Es müſste immer für die zwei zu vergleichenden Versuche gleich sein. Wie die Tabelle zeigt, ist dies in ziemlich engen Grenzen der Fall. Für die Abweichungen läſst sich keine eindeutige Regel herausfinden. Es ist aber nicht unmöglich, daſs man bei einer Wiederholung der Versuche mit genaueren Eichungen von E', als sie bei den jetzt publizierten vorgenommen werden konnten, eine solche Regel zu konstatieren sein wird. Wenn man aus einer summarischen Betrachtung der ganzen Versuchsergebnisse auf eine solche schlieſsen will, so ist es die, daſs bei gröſserem C' unter sonst gleichen anderen Versuchsbedingungen das Produkt $T\sqrt{E'}$ kleiner wird, eine Beziehung, die wohl aus dem oben besprochenen Einfluſs der Nachdehnung auf die Schwingungsdauer zu erklären sein wird. Der Unterschied zwischen dem E', das während der Schwingungen gewirkt hat und dem durch die Eichung bestimmten, muſs um so gröſser sein, je kürzer die Schwingungsdauer ist. S. oben S. 492. Auf diese Beziehungen gedenke ich ebenfalls später zurückzukommen.

Es könnte vielleicht auffallen, dafs bei allen in der Tabelle aufgenommenen Versuchen E' in den höheren Druckregionen stets gröfser ist als in den niederen, so dafs man daraus eine Gesetzmäfsigkeit ableiten möchte. Nach dem, was ich oben (S. 505) über die Einflüsse auseinandergesetzt habe, welche die Gröfse von E' bestimmen, ist dies nur als eine zufällige Eigenschaft der von mir benutzten Manometer zu betrachten.

Schlufsbetrachtung über die Formel: $T = 2\pi\sqrt{\frac{M'}{E'}}$.

Unsere bisherigen Betrachtungen haben gezeigt, dafs die in der Formel ausgesprochenen Beziehungen der Schwingungsdauer zu der Gröfse E' und der wirksamen Masse $M' = s\,\Sigma\,\frac{L}{Q}$ durch die Versuchsergebnisse hinreichend genau bestätigt werden. Man kann danach erwarten, dafs die aus diesen Gröfsen nach der Formel $T = 2\pi\sqrt{\frac{M'}{E'}}$ berechneten Schwingungsdauern mit den beobachteten hinreichend übereinstimmen. Die Zusammenstellung in der folgenden Tab. 9 beweist, dafs man in der Tat aus diesen Konstanten mit überraschender Genauigkeit die Schwingungsdauer im voraus berechnen kann. Um zu sehen, wie weit die Übereinstimmung der Rechnung (Tab. 9) mit dem Experiment geht, habe ich in der letzten Spalte das Verhältnis der berechneten zu der beobachteten Schwingungsdauer angegeben. Die Abweichungen betragen in maximo 17%. Man kann jedoch aus diesen Zahlen nicht mit voller Sicherheit ersehen, dafs die berechneten Zahlen in einer eindeutigen Richtung von den beobachteten abweichen. Zunächst mufs man bedenken, dafs in allen Versuchen die Konstanten noch nicht mit der äufserst möglichen Genauigkeit festgestellt wurden. Läfst man aber die ersten Versuche wieder aufser Betracht, weil sich die Genauigkeit der Versuche im Laufe der ganzen Untersuchung naturgemäfs erhöht hat und die letzten Versuche ein gröfseres Vertrauen verdienen, so fällt bei diesen das Überwiegen der Zahlen über 100 in der letzten Spalte der Tabelle auf. Dies

Tabelle 9.

	T	(L/Q)	E'	T berechnet	Verhältnis
9. VI. 02					
I. 1.	7,80	299,1	1974	7,73	99
2.	5,82	160,8	»	5,67	98
3.	3,54	54,0	»	3,31	94
II. 1.	4,11	299,1	5615	4,56	111
2.	3,06	160,8	»	3,35	109
3.	1,92	54,0	»	1,95	102
12. VI. 02					
I. 6.	8,13	297,1	1817	8,06	99
5.	5,56	137,4	»	5,45	98
4.	4,46	83,6	»	4,24	95
3.	3,56	54,9	»	3,45	97
II. 6.	5,19	297,1	4270	5,24	101
5.	3,90	137,4	4105	3,63	93
4.	2,97	83,6	4045	2,85	96
3.	2,63	54,9	3947	2,33	89
23. VI. 02					
I. 7.	16,72	982,1	1523	15,88	95
6.	13,75	675,1	»	13,20	96
5.	9,62	369,6	»	9,75	101
4.	7,21	217,8	»	7,52	104
3.	4,08	89,1	»	4,78	117
II. 7.	8,11	982,1	5720	8,20	101
6.	6,79	675,1	»	6,83	101
5.	4,96	369,6	»	5,03	101
4.	3,79	217,8	»	3,88	102
3.	2,27	89,1	»	2,46	108
25. VI. 02					
I. 1.	15,5	979,1	1523	15,88	103
3.	13,1	735,7	»	13,76	105
4.	20,9	1658,6	»	20,65	99
II. 1.	8,19	979,1	5720	8,20	100
3.	6,58	735,7	»	7,10	108
4.	9,94	1658,6	»	10,7	110
7. VIII. 02					
II. 10.	8,22	1052,1	6040	8,26	100
9.	6,48	642,6	»	6,47	100
8.	3,88	265,1	»	4,15	107

würde zu bedeuten haben, dafs die berechneten Schwingungsdauern im Durchschnitt etwas gröfser sind als die beobachteten. Man wird dies, analog wie den oben erörterten Abweichungen, auf die durch die Nachdehnung bedingte ungenaue Feststellung von E' durch die Volumeichung zurückführen müssen. Legt man dem letzten Versuch, bei dem die Eichung von E' mit besonderer Genauigkeit (s. Tab. 7) ausgeführt worden ist, ein gröfseres Gewicht bei, so sieht man, dafs bei der längeren Schwingungsdauer — hier von 8 und 6/100 Sekunden — die Nachdehnung sich noch nicht geltend macht, so dafs eine fast absolute Übereinstimmung der berechneten mit der beobachteten Schwingungsdauer vorhanden ist, dafs dies aber wohl bei der kürzeren Schwingungsdauer der Fall ist. Hier tritt dieselbe Beziehung, die wir schon oben (s. S. 511) diskutiert haben, wieder zutage. Man wird wohl dieser Erscheinung eine besondere Beachtung schenken müssen. Sollte sie sich bestätigen, so wird man bei einer genaueren Analyse des ganzen Verlaufs der Schwingungen wohl die quantitativen Beziehungen der Nachdehnung zu diesem Verlauf ermitteln können. Man wird diese Erkenntnis sehr wohl zur Beseitigung der Fehler, die in den Aufzeichnungen der Manometer durch die Nachdehnungserscheinungen bedingt sind, praktisch verwerten können. Eine nochmalige Berücksichtigung finden die Nachdehnungserscheinungen bei der Erörterung der Wirkung der Dämpfung.

Von diesen in jedem Falle sehr geringfügigen Abweichungen der Versuchsergebnisse von der Theorie wird man im allgemeinen vollständig absehen können, und aus unseren Versuchen, besonders wenn man nur den praktischen Endzweck unserer Untersuchung ins Auge fafst, die Abweichungen der Angaben der Manometer, welche durch die Hauptursachen: die Massenwirkung und die Dämpfung hervorgerufen sind, zu korrigieren, eine absolute Bestätigung der Theorie durch unsere Experimente erblicken können. Wir haben die Theorie unter den verschiedensten Umständen geprüft, wir haben die Konstanten um das 10- und 20fache wechseln lassen, ohne dafs sich die Grenze für die Gültigkeit des Gesetzes gezeigt hätte. Wir haben sie in Fällen, die als sehr

verwickelt erscheinen mufsten, bestätigt gefunden. Wir haben sie insbesondere in ihrer auffälligsten Folgerung: dem Einflufs des Querschnittes auf die Schwingungen vollständig in Übereinstimmung mit den Versuchsergebnissen gesehen. Ich glaube, wir können unbedenklich daraus den Schlufs ziehen, dafs das, was wir hier gefunden haben, nicht nur für die Eigenschwingungen des Systems gilt, sondern auch für erzwungene Schwingungen, als welche sich die Bewegungen der unter dem Einflusse einer wechselnden Kraft erfolgenden Bewegungen der elastischen Membran darstellen. Insbesondere können wir mit Sicherheit annehmen, dafs die Gröfse der Massenwirkung hier durch eben dieselben Faktoren bestimmt ist, als bei den Eigenschwingungen. Sie wird sich ebenso als $\Sigma(L/Q)$ darstellen lassen. Da der Umfang aller Bewegungen in dem Manometer nur sehr klein ist, können wir einfach das Superpositionsgesetz kleiner Bewegungen anwenden, um zu der Folgerung zu gelangen, dafs die durch die Schwingungsversuche ermittelten Beziehungen auch für die erzwungenen Schwingungen gelten. Eine erzwungene Schwingung läfst sich in diesem Sinne immer als eine Summe von Eigenschwingungen des Systems darstellen. (Fouriersche Reihe!)

Wir können also hier der Theorie, die in der Differentialgleichung 1 ausgesprochen ist, ohne weiteres folgen. Ihre Anwendbarkeit läfst sich aber jetzt, nachdem wir die allgemeinen Gesichtspunkte aufgestellt haben, noch besonders experimentell prüfen. Man kann durch eine Maschine regelmäfsige Druckschwankungen erzeugen, diese durch Manometer mit den verschiedensten Konstanten registrieren lassen, und nun nach den Direktiven, die unsere Entwicklungen ergeben haben, untersuchen, ob die Abweichungen der von diesen verschiedenen Manometern registrierten Kurven sich aus den Folgerungen der Theorie quantitativ erklären lassen. Dies werde ich in späteren Experimenten ausführen.

Nach unseren Darlegungen besitzen wir somit zwei Methoden, um die zur Korrektur der von einem elastischen, mit Flüssigkeit gefüllten Stift-Manometer registrierten Kurven

nötige Konstante M' festzustellen. Sie kann aus Schwingungsversuchen ermittelt werden. Sie kann aber auch aus den Dimensionen der Röhrenverbindungen berechnet werden. Der letztere Weg wird immer zu einer wenigstens annähernden Feststellung führen, den ersteren müssen wir jedoch einschlagen, wenn es sich um die genaue Bestimmung von M' bei komplizierten Röhrenverbindungen handelt. Dafs man dabei für die Korrektur der Kurven die nicht sehr exakte Feststellung von $\frac{\Delta p}{\Delta V} = E'$ umgehen kann, werde ich am Ende dieser Abhandlung zeigen. Diese Konstante E' braucht dann, wie wir sehen werden, wenn man nichts weiter beabsichtigt, als die Kurven zu korrigieren, überhaupt nicht bestimmt zu werden.

Ich könnte jetzt zu der Erörterung der Theorie der Dämpfung und damit zur Bestimmung der letzten für die Korrektur nötigen Konstanten K' übergehen. Ich will jedoch noch die Massenwirkung bei einigen speziell für die hämodynamischen Versuche wichtigen Anordnungen besprechen. Es wird uns dies zu einer Betrachtung der Massenwirkung in den Lufttonographen führen.

Die wirksame Masse der Flüssigkeit in den Röhrenverbindungen, die zu hämodynamischen Versuchen gebraucht werden.

Bei den hämodynamischen Versuchen werden im allgemeinen Röhrenverbindungen von sehr verwickelter Form gebraucht. Man wird auch nicht umgehen können, elastische Röhren oder wenigstens biegsame Röhren bei den Versuchen anzuwenden. Die letzteren erfordern eine besondere Betrachtung. Ich werde sie am Ende dieses Kapitels besprechen.

Die Krümmung einer Röhre hat, aufser wenn sie sehr stark ist, keinen wesentlichen Einflufs auf die Gröfse der wirksamen Masse, wie mir zwei Experimente gezeigt haben. Von vornherein würde anzunehmen sein, dafs sich ein Einflufs, wenn er überhaupt bemerkbar sein sollte, darin äufsern würde, dafs eine Krümmung der Röhre die wirksame Masse M' vergröfsert, denn durch die Krümmung wird im allgemeinen die Flüssigkeits-

strömung auf einen kleineren Querschnitt eingeengt, es entstehen tote Strecken an der inneren Seite der Krümmung, wie man sie an jedem gekrümmten Flufsbette beobachten kann. Bei dem ersten Experiment, das ich angestellt habe, um den Einflufs der Krümmung der Röhren zu untersuchen, war eine kleine Beeinflussung von M' in dieser Richtung zu bemerken. Die Flüssigkeit befand sich bei dem ersten Schwingungsversuch in einer geraden Röhre, in dem zweiten Versuch wandte ich eine Röhre von nahezu demselben Durchmesser an, brachte jedoch eine allmählich verlaufende rechtwinklige (wenn ich mich so ausdrücken darf) Krümmung an. Leider war in beiden Versuchen die in diesen Röhren schwingende Wassersäule nicht gleich lang. Die Daten des Versuchs sind folgende:

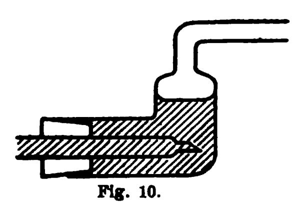
23. VI. 02	gerade Röhre Nr.	I 7	$L = 65{,}4$	$T = 16{,}7$
	gebogene Röhre	I 8	$L = 65{,}7$	$T = 17{,}1$
	gerade Röhre	II 7	$L = 65{,}4$	$T = 8{,}11$
	gebogene Röhre	II 8	$L = 65{,}7$	$T = 8{,}27$

Vielleicht kann man hier den Einflufs der Krümmung auf M' in einer Verlängerung der Schwingungsdauer erkennen. Es hat einen besonderen Wert, festzustellen, ob eine Krümmung des Rohrs im allgemeinen einen merkbaren Einflufs auf die Gröfse von M' dann ausübt, wenn man mit biegsamen Röhren, also z. B. mit Bleiröhren arbeitet. Bei festen Röhren kann man ja durch die Schwingungsversuche die Gröfse der schwingenden Masse ein für allemal feststellen. Anders aber bei den biegsamen Röhren. Hier kann es im Verlauf eines Versuches notwendig werden, die Krümmung zu ändern, oder sie kann durch Zufall geändert werden. Wäre der Einflufs einer solchen Krümmung wesentlich, so würde dadurch die Massenkonstante des Manometers in einer nicht leicht zu kontrollierenden Weise geändert und die Korrektur der erhaltenen Kurven mit dieser Konstante aufserordentlich erschwert und unsicher. Es hat sich nun in dem soeben beschriebenen Versuch der Einflufs der Krümmung aufserordentlich gering gezeigt; ich habe aber doch noch einen Versuch mit einer Bleiröhre angestellt, die ich bei einer Schwingung gerade streckte und vor der zweiten Schwingung aber in einen Ωförmigen

Bogen zusammenkrümmte. Die Schwingungsdauer vor der Krümmung war 10,19, nach der Krümmung 10,07. Es hat also praktisch keine Veränderung der Schwingungsdauer, oder, was dasselbe ist, da im übrigen die Versuchsbedingungen die gleichen geblieben sind, keine Veränderung der schwingenden wirksamen Masse durch die starke Biegung der Bleiröhre stattgefunden. Man kann also zu hämodynamischen Versuchen unbedenklich Bleiröhren verwenden, ohne dafs man zu fürchten braucht, dafs durch zufällige Verbiegungen die Masse M' geändert würde.

Unsere Theorie zeigt uns, dafs wir nicht immer die schwingende Masse in den verwickelten Röhrenkombinationen, die bei einem hämodynamischen Versuch angewendet werden, bestimmen müssen. Wir wissen ja aus der Theorie, und die Experimente haben sie bestätigt, dafs die wirksame Masse gleich der Summe aller L/Q ist. Wir brauchen also nur die Gröfse L/Q für die einzelnen Teile der Kombination zu kennen, um die ganze Massenwirkung als die Summe derselben zu erhalten. Dies erleichtert nun die praktische Bestimmung der wirksamen Masse aufserordentlich, da man die Konstante M' für die einzelnen Teile im voraus bestimmen, und diese dann in beliebiger Verbindung benutzen kann. Die Röhren, die zu einem hämodynamischen Versuch gebraucht werden, lassen sich zu diesem Zwecke in drei Klassen teilen, diejenigen, die in fester Verbindung mit dem Manometerkörper sind, ferner die Röhren, die unmittelbar mit dem Ort, an dem der Druck gemessen werden soll, in Zusammenhang stehen, im allgemeinen als Kanülen geformt, und zum Schlufs die diese beiden verbindenden Röhren. Für die an dem Manometer befindlichen Röhren kann ein für allemal die Gröfse L/Q bestimmt werden. Sie betrug beispielsweise bei dem von mir in diesen Versuchen verwendeten Manometer 40 Einheiten. Man kann leicht bei der Konstruktion noch unter diese Gröfse herabgehen, indem man eine weitere Röhre als diese, 2,8 mm weite, anbringt. Ebenfalls integrierende Bestandteile einer solchen Röhrenverbindung sind die in das Gefäfssystem oder die Herzhöhlen des tierischen Körpers eingesetzten Kanülen. Da sie eine mehr verwickelte Form besitzen, wird man die Gröfse von M' nicht oder im

besten Falle nur angenähert aus ihren Dimensionen ableiten können. Man ist zur Bestimmung von M' im allgemeinen auf Schwingungsversuche angewiesen. Ich habe für eine Kanüle, die für die Carotis kleinerer Hunde bestimmt ist, eine derartige Ermittelung vorgenommen. Um die Bestimmung bei solchen Röhren durchführen zu können, mufs man eine bestimmte kleine Hilfsvorrichtung anwenden, um die plötzlichen Druckänderungen, welche die Schwingungen hervorrufen, einwirken zu lassen. Man kann nämlich die mit Flüssigkeit gefüllte Kanüle nicht unmittelbar an den Apparat, der zur Erzeugung der Schwingungen dient (s. Fig. 10) anschliefsen, da bei den Schwingungen Flüssigkeit aus der Kanüle aus- und Luft in sie eintreten würde, was zu verhindern für die Bestimmungen der Konstanten sowohl wegen der Veränderung der Masse als der Reibung sehr wichtig ist. Man mufs die Kanüle in ein kleines Wasserreservoir eintauchen lassen, um dies zu vermeiden. Ich gab diesem Zwischenstück die nebenstehende Form (s. Fig. 10). Die geringe Vergröfserung der Masse durch die in diesem Reservoir befindliche Flüssigkeit ist ohne Belang für die Bestimmung. Bei dem von mir


Fig. 10.

angewendeten Zwischenstück betrug L/Q nicht mehr als eine Einheit. Man kann auch hierfür noch eine Korrektur anbringen. In dem Versuch, bei dem ich die Bestimmung von M' für die Kanüle vornahm, war die Schwingungsdauer vor der Anfügung der Kanüle an das Röhrensystem 8,43, nach derselben 8,61. Aus der Gröfse von $E' = 5720$ berechnete sich dann die Masse M' im ersten Fall zu 1050, im zweiten zu 1094, was durch Subtraktion eine Masse M' für die Kanüle von 44 ergibt. Man sieht aus diesem Beispiel, das ich nur als Vorbild für das Verfahren, derartige Werte zu ermitteln, gegeben habe (wenn man die Gröfse von M' für die Kanüle ermitteln will, darf man die übrige Masse des Systems nicht so grofs machen), dafs die in den Kanülen schwingende Masse nicht ohne Belang ist. Wir können auch für die Konstruktion der Kanülen bestimmte Grundsätze aus unserer Theorie ableiten. Man wird, da die Verringerung der

Masse die Dauer der Aufzeichnung begünstigt, die Kanülen so weit wie möglich wählen. Wenn eine gewisse Verengerung nicht zu umgehen ist, wird man diese enge Stelle so kurz wie möglich machen, um den Wert L/Q, so gut es geht, zu verringern. Man sieht aber auch weiter, daſs bei gewissen Blutdruckversuchen, bei denen man lange und verhältnismäſsig enge Kanülen anwenden muſs, wie bei den meisten Versuchen zur Bestimmung des Ventrikeldrucks die nicht zu vermeidende Masse verhältnismäſsig groſs ist, und daſs dadurch gewaltige Entstellungen des Bildes von dem Druckablauf entstehen müssen und dies gerade bei einem Fall, der aus anderen Gründen die höchsten Anforderungen an ein registrierendes Instrument stellt. Beispielsweise beläuft sich die Masse M' für eine nur 10 cm lange, 2,0 mm weite Kanüle auf ca. 300. Man wird die Behauptung aufstellen dürfen, daſs bis jetzt noch niemand durch irgend ein Instrument eine Ventrikel-Druckkurve erhalten hat, von der man mit Sicherheit sagen kann, daſs sie auch nur in groſsen Zügen richtig ist. Ohne Korrekturen kommt man hier überhaupt nicht aus. Für die Kanülen, die man bei den verschiedenen Blutdruckversuchen benutzt, kann man ein für allemal die Gröſse von L/Q feststellen und wird dies nicht für jeden Versuch zu wiederholen haben. Die Verbindungsröhren, die von den Kanülen zu dem Manometer hinführen, werden im allgemeinen von so einfacher Form sein, daſs man L/Q aus den Dimensionen bestimmen kann. Während man die Gröſse von L/Q bei der Manometerröhre und besonders bei den Kanülen nicht viel ändern kann, wird man hier bei den Verbindungsröhren, die man ja im allgemeinen beliebig weit wählen kann, die Masse nach Möglichkeit zu vermindern bestrebt sein.

Unsere einfachen Überlegungen haben gezeigt, daſs man mit sehr wenigen Versuchen über die Massengröſsen bei allen Röhrenteilen, die in Kreislaufversuchen zur Verwendung kommen können, unterrichtet sein kann, daſs man also für diesen Teil des hämodynamischen Apparates die Konstante M' schon im voraus auswählen kann. Ehe wir unsere theoretische Überlegung angestellt hatten,

war es überhaupt nicht möglich, auch nur zu einer schätzungsweisen Vorstellung von der Gröfse der Masse zu kommen.

Hat man die Bestimmung der wirksamen Masse für eine Füllung mit destilliertem Wasser bestimmt, so braucht man nach der Formel die erhaltene Gröfse nur mit dem spezifischen Gewicht einer anderen Flüssigkeit zu multiplizieren, um für diese Flüssigkeit die Masse M' zu erhalten.

Die wirksame Masse der Flüssigkeit in elastischen Röhren.

Wir kommen jetzt zu der sowohl für die praktische Anwendung bei hämodynamischen Versuchen als auch in theoretischer Beziehung sehr wichtigen Ableitung der wirksamen Masse für in elastischen Röhren schwingende Flüssigkeiten. Zunächst könnte man annehmen, dafs, sofern man nur berücksichtigt, dafs der Querschnitt der Röhre, wenn die Schwingungen um eine Gleichgewichtslage, die einem höheren Druck entsprechen, erfolgen, vergröfsert wird, dafs dann, wenn man diese Vergröfserung in Rechnung zieht, die Gröfse der Masse nach der gewöhnlichen Formel zu eruieren wäre. Das allerdings einzige Experiment, das ich angestellt habe, belehrt uns, dafs diese Annahme nicht richtig ist. Ich habe bei einem Versuch, bei dem die schwingende Flüssigkeit sich zunächst in einer Bleiröhre befand, eine Schwingungsdauer von 10,2 gefunden, daraus berechnet sich für $E' = 1520$ die wirksame Masse zu 942 Einheiten $\left(M' = \frac{T^2 . E'}{2\pi}\right)$. Als ich nun das Bleirohr durch einen annähernd gleich weiten elastischen dickwandigen Schlauch ersetzte, stieg die Dauer einer Flüssigkeitsschwingung auf 14,3. Hieraus berechnet sich eine Masse von 1738, also beinahe doppelt so grofs als bei der starren Röhre. Dabei war nur ein Teil des Röhrensystems durch die elastische Röhre ersetzt, und, da es sich um Schwingungen um die Gleichgewichtslage bei 0 Druck handelte, die mittlere Erweiterung der Röhre, die überhaupt wegen der dicken Wandung nur gering anzuschlagen war, gleich 0 zu setzen. Das Experiment zeigt uns ohne weiteres, dafs wir für die elastischen Röhren eine besondere Entwicklung nötig haben.

Eine einfache Überlegung läfst uns den Grund für die Ungültigkeit der für die starren Röhren entwickelten Formeln bei den elastischen Röhren darin finden, dafs das Kontinuitätsgesetz für die Flüssigkeitsströmung bei elastischen Röhren keine Gültigkeit besitzt. Nach diesem Gesetz hatten wir angenommen, dafs bei den starren Röhren, die wir bis jetzt allein betrachtet hatten, wenn eine Flüssigkeitsbewegung in ihnen stattfindet, durch jeden Querschnitt der Röhre in einer gewissen Zeit dieselbe Flüssigkeitsmenge hindurchtritt. Dies ist bei den elastischen Röhren durchaus nicht der Fall. Wir sehen, dafs ein bei dem Querschnitt l (Fig. 11) befindliches Flüssigkeitsteilchen (s. Fig. 9) bei den Schwingungen zunächst die Bewegung mitmachen mufs, welches das am Anfangsquerschnitt bei O befindliche Teilchen hat, dafs es aber aufserdem durch die Erweiterung (bezw. Verengerung) des ganzen zwischen O und l befindlichen Teils der Röhre infolge der Druckänderung noch eine besondere Bewegung erhält. Es ist also bei einer Schwingung der Flüssigkeit in der elastischen Röhre die Bewegung am Ende der Röhre stets eine gröfsere als am Anfang. Man kann nun dem in der Entwicklung Rechnung tragen, indem man entweder annimmt, dafs der Elastizitätskoeffizient für die einzelnen Querschnitte verschieden ist oder indem man die Beschleunigung der Volumina oder die wirksame Masse M' als verschieden in Anschlag bringt. Wir wollen den letzteren Weg einschlagen und wiederum als Prinzip für die weitere Entwicklung hinstellen, dafs der Elastizitätskoeffizient E', wie er durch die oben geschilderte Eichung für den Anfangsquerschnitt O festgestellt wurde, ein für allemal auch bei den Entwicklungen der analytischen Beziehungen für die elastischen Röhren seine Gültigkeit behält. Wir müssen nun zusehen, wie wir die Massenwirkung der einzelnen Flüssigkeitsteilchen so umformen können, dafs sie sich nach dem d'Alembertschen Prinzip summieren läfst. Über die Anwendbarkeit des Summierungsprinzips werden wir uns später noch einmal aussprechen.

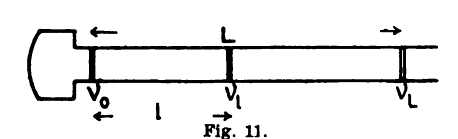


Fig. 11.

Zu dem Zweck müssen wir vorerst zusehen, in welchem Verhältnis eine Flüssigkeitsverschiebung in einem beliebigen Querschnitt bei $l = V_l$ zu der Volumverschiebung in dem Anfang der Röhre $0 = V_o$ steht. Wir müssen die Elastizitätsbeziehung in den verschiedenen Abschnitten des Systems zu diesem Zwecke eruieren. Für eine Volumverschiebung in dem Anfangsquerschnitt der Röhre gilt die bisher stets angewendete Beziehung: $\Delta p = -E' \Delta V_o$. Nehmen wir nun an, dafs der Querschnitt der Röhre sich auf eine Drucksteigerung Δp hin gemäfs: $\Delta P = \varphi \Delta Q$ erweitere, so ist die Druckerhöhung Δp, die eintritt, wenn wir die Flüssigkeitsmenge ΔV_l in der Richtung $-l$ durch den Querschnitt l hindurchtreten lassen; zu berechnen nach $\Delta P = -\varphi \frac{\Delta V_l}{l}$ oder $\Delta V_l = -\frac{\Delta p \cdot l}{\varphi}$, wenn die Röhre an dem Anfangsquerschnitt O vollständig verschlossen ist. Ist dagegen hier die Manometertrommel angesetzt, so verschiebt sich auch die Flüssigkeit in dem Anfangsquerschnitt. Es dringt von dem Volum ΔV_l, das die Flüssigkeitsverschiebung bei l darstellt, $-\frac{\Delta P}{E'}$ in die Manometertrommel und $-\frac{\Delta p l}{\varphi}$ in die Röhre, d. h.

$$\Delta V_l = \frac{-\Delta p}{E'} - \frac{\Delta p \cdot l}{\varphi}.$$

Das Verhältnis der bei x stattfindenden Volumverschiebung zu der in dem Anfangsquerschnitt erfolgenden beträgt also

$$\frac{\Delta V_x}{\Delta V_o} = \frac{\frac{-\Delta p}{E'} - \frac{\Delta p \cdot l}{\varphi}}{\frac{-\Delta p}{E'}} = \frac{1 + E' \cdot l}{\varphi} \quad . \quad . \quad \text{(Gl. 16)}$$

Dies ist die erste Beziehung, die zur Feststellung der Massenwirkung nötig ist. Nach unseren früheren Entwicklungen können wir nun die Gleichung für die Massenwirkung ohne weiteres wie folgt anschreiben:

$$s \sum \left(\frac{\Delta l}{Q} \cdot \frac{d^2 V_l}{dt^2} \right) = -E' \cdot V_o.$$

Hierbei ist unter dem V_l der linken Seite die jeweilig bei l vorhandene Flüssigkeitsverschiebung zu verstehen. Drücken wir

diese nun in Volumverschiebungen, die im Anfangsquerschnitt stattfinden, nach der Gleichung 16 aus, so ergibt sich:

$$s \sum \frac{\Delta l}{Q} \left(1 + \frac{E' \cdot l}{\varphi}\right) \frac{d^2 V^2}{d t^2} = -E' \cdot V_0$$

oder umgeschrieben zu:

$$\frac{d^2 V}{d t^2} \cdot \frac{s}{Q} \Sigma \Delta l \left(1 + \frac{E' l}{\varphi}\right) = -E' \cdot V,$$

wenn wir die geringen Veränderungen des Querschnittes vernachlässigen. Führen wir die Summierung bezw. die Integrierung aus, so erhalten wir:

$$\frac{d^2 V}{d t^2} \cdot \frac{s}{Q} \int_0^L d l \left(1 + \frac{E' l}{\varphi}\right) = \frac{d^2 V}{d t^2} \cdot \frac{s}{Q} \left(L + \frac{E' L^2}{2 \varphi}\right) = -E' V.$$

Daraus ergibt sich:

$$M' = \frac{s}{Q} \left(L + \frac{E' \cdot L^2}{2 \varphi}\right) \quad . \; . \; . \; . \; . \quad \text{(Gl. 17)}$$

Die wirksame Masse erweist sich also bei den elastischen Röhren viel gröfser als bei den starren Röhren. Der Unterschied wird um so bedeutender, je gröfser E' im Verhältnis zu dem Elastizitätskoeffizienten der elastischen Röhre φ ist. Wir können auch statt des Elastizitätskoeffizienten φ einen anderen, ψ, einführen, der das Verhältnis des Druckzuwachses in der elastischen Röhre zu der ihn bewirkenden Volumverschiebung an dem Ende der elastischen Röhre L ausdrückt. Hier besteht folgende Beziehung:

$$\psi = \frac{\Delta p}{\Delta V_L} \text{ oder } \psi = \frac{\varphi}{L}.$$

Wir erhalten dann für die Schwingungsdauer entweder:

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{s}{Q} \left(\frac{L}{E'} + \frac{L^2}{2 \varphi}\right)} \quad . \; . \; . \; . \quad \text{(Gl. 18)}$$

oder:

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{s}{Q} \cdot L \left(\frac{1}{E'} + \frac{1}{2 \varphi}\right)}.$$

Wird E' unendlich grofs, d. h. setzen wir an den Anfang der elastischen Röhre eine feste Wand, so ergibt sich:

$$T = 2 \pi L \sqrt{\frac{s}{2 Q \varphi}} = 2 \pi \sqrt{\frac{s \cdot L}{2 Q \psi}} \quad . \; . \; . \quad \text{(Gl. 19)}$$

Auf diese Formel und ihre Stellung in der theoretischen Analyse der Druckwellen in elastischen Schläuchen werde ich unten zurückkommen. Dort werde ich auch noch über die Berechtigung unserer Ableitung sprechen.

Diese Vergröfserung der wirksamen Massen durch die Einfügung von elastischen Schläuchen in das Röhrensystem, das zu dem Manometer führt, ist wohl zu beachten. In unserem Fall war in dem System, das in dieser Form zu Bestimmungen des Blutdrucks in der Aorta gedient hatte, nur ein kleiner Teil — etwa die Hälfte — der Gesamtlänge durch die elastische Röhre — den Luftpumpenschlauch — ersetzt worden, und schon diese kleine Änderung erhöhte die Masse um beinahe das Doppelte.

Wir wollen nun den speziellen Fall einer kurzen Verbindung der festen Röhren durch elastische Schläuche etwas näher in das Auge fassen. Derartige Verbindungen wird man immer bei hämodynamischen Versuchen anwenden müssen. Wir können hierfür unsere allgemeine Formel, nach der M' gleich der Summe aller einzelnen Massen über die ganze Länge des Röhrensystems summiert ist, anwenden, und zerlegen, um zu einem Urteil über den Einflufs einer elastischen Verbindung zu kommen, das Röhrensystem in drei Teile, wobei wir zunächst annehmen, dafs nur eine elastische Verbindung vorhanden ist. Der erste Teil sei starr und reiche von dem Anfangsquerschnitt bis zu der elastischen Röhre, der zweite bestehe aus der elastischen verbindenden Röhre, während der dritte bis zu dem Ende des Systems an dem Ort, an dem der Druck bestimmt werden soll, wieder starr sein soll. Bei dem ersten Teil sind überall die Volumverschiebungen nach dem Kontinuitätsgesetz dieselben wie in dem Anfangsquerschnitt. Die wirksame Masse in diesem Teil läfst sich dann nach der gewöhnlichen Formel berechnen.

Da am Ende dieses festen Teils die Volumverschiebung dieselbe ist wie im Anfangsquerschnitt, läfst sich zur Bestimmung der wirksamen Masse in dem mittleren elastischen Teil der Röhrenkombination dieselbe Entwicklung verwenden, die wir soeben angestellt haben, das heifst ihre wirksame Masse ist gleich

$\frac{s}{Q}\left(L_2 + \frac{E' L_2^2}{2\varphi}\right)$, wobei L_2 die Länge des elastischen Teils bedeutet (s. Gl. 17).

Anders steht es nun mit der in dem dritten festen Röhrenabschnitt schwingenden Flüssigkeit. Innerhalb dieser Flüssigkeitsstrecke hat wieder das Kontinuitätsgesetz Geltung, es ist also die Volumverschiebung für jeden Querschnitt dieses Teils konstant. Die Masse würde sich, wenn nicht der elastische Teil vorher eingeschoben wäre, nach unserer einfachen Formel zu $\Sigma \frac{L_3}{Q}$ berechnen. Am Ende L_2 der elastischen Röhre sind aber die Volumverschiebungen gegenüber derjenigen in dem Anfangsquerschnitt um $1 + \frac{E' \cdot L_2}{\varphi}$ vergröſsert. Diese Vergröſserung machen nach dem soeben Gesagten die sämtlichen Flüssigkeitsteilchen in dem dritten Teil der Röhre mit. Um also die wirksame Masse für diesen Teil zu erhalten, müssen wir die nach der einfachen Formel berechnete mit diesem Faktor multiplizieren und wir erhalten für die wirksame Masse dieses Teiles 3:

$$M' = s\left(1 + \frac{E' \cdot L_2}{\varphi}\right) \sum \frac{L_3}{Q} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{(Gl. 20)}$$

Aus dieser Gleichung kann man die Vermehrung erfahren, welche die wirksame Masse einer in einem festen Röhrenabschnitt befindlichen Flüssigkeit durch die Einfügung einer elastischen Verbindung vor diesem Abschnitt erhält. Für eine weitere Anzahl von elastischen Verbindungen läſst sich dann leicht die Veränderung von M' nach diesem Prinzip berechnen.

Wir können aus dieser Formel einige sehr wichtige Folgerungen für die Anwendung elastischer Verbindungen bei hämodynamischen Versuchen ziehen. Es kommt ganz auf die Lage der elastischen Verbindung an, ob sie einen wesentlichen Einfluſs auf die Gröſse der wirksamen Masse ausübt oder nicht. Liegt die elastische Verbindung nahe der Manometertrommel, so wird sich die Vergröſserung der Volumverschiebung, die durch das Einschieben der elastischen Verbindung bewirkt wird, auf die ganze weitere Flüssigkeitsstrecke übertragen, und die nach der

gewöhnlichen Formel berechnete Masse derselben wird nach unseren Entwicklungen mit der Vergröfserung der Volumverschiebung multipliziert werden müssen, um die wirksame Masse zu erhalten. Bei einem an dem Ende der Röhrenverbindung, sagen wir an der Kanüle, liegenden elastischen Verbindungsstück wirkt die Volumvergröfserung nur auf die kleinen Massen derselben und ihr schädlicher Einflufs (im Sinne einer Vergröfserung der wirksamen Masse) macht sich nur auf diese geringe Masse geltend. Wir sehen also, elastische Verbindungen am Ende der Röhre in der Nähe der Kanülen äufsern einen viel geringeren schädigenden Einflufs als elastische Verbindungen, die in der Nähe des Manometers angebracht sind. Ein Beispiel möge dies erläutern. Der Massenwert der Flüssigkeit in der Kanüle betrage wie in dem oben erwähnten Experiment: 40 Einheiten. Der Wert für die ganze übrige Röhrenkombination bis zu dem Manometer 1000 Einheiten. (Beide Werte sind von mir benutzten Kombinationen entnommen.) Durch eine elastische Verbindung werde eine Zunahme der Volumverschiebung gegenüber derjenigen in dem Anfangsquerschnitt um 10% bewirkt. Eine solche Zunahme wird schon durch kurze Strecken auch sehr dickwandiger Schläuche erzeugt. Bei dem auf Seite 521 aufgeführten Beispiel betrug die Vergröfserung der Volumverschiebung bedeutend mehr. Ist die elastische Verbindung in der Nähe des Manometers angebracht, so wird die Masse dadurch um 100 Einheiten vermehrt. Befindet sie sich dagegen in der Nähe der Kanüle, so ergibt sich eine Vergröfserung der wirksamen Masse um nur 4 Einheiten. Wir hätten in diesem letzten Fall die elastische Verbindung weit dehnbarer — um das Zwanzigfache — halten können, ohne dafs dadurch die schädliche Wirkung der Verbindung gröfser als bei der ersten Anordnung geworden wäre. Ich habe einen Versuch angestellt, der den geringen Einflufs von elastischen Verbindungen, die in der Nähe der Kanülen angebracht sind, erläutert. Die Dauer einer Schwingung der Flüssigkeit betrug bei einer Anordnung, bei der die durch einen Schlauch verbundenen Enden der festen Röhren direkt aneinander stiefsen (Glas an Glas): 10,1. Ich lockerte dann die

Verbindung der beiden Röhren, so dafs sie jetzt $^1/_4$ cm voneinander sich entfernten. Die Schwingungsdauer blieb die gleiche: 10,2. Man wird also im allgemeinen die Röhrenverbindungen in der Nähe des Manometers starr halten, etwa durch Bleirohre, während man dann die unmittelbare Verbindung dieser Röhren mit der Kanüle selbst durch dünne Schläuche herstellt, falls es im Interesse der Bequemlichkeit nötig erscheint.

Die wirksame Masse der Gummimembran.

An das Kapitel, in dem die Ausdrücke für die wirksame Masse von Flüssigkeiten in elastischen Röhren entwickelt worden sind, schliefst sich am besten die Berechnung der wirksamen Masse einer in den Röhren schwingenden elastischen Flüssigkeit, der Luft, an. Um jedoch die Entwicklungen, die wir zu dem Zweck ausführen, durch das Experiment wieder prüfen zu können, müssen wir vorher den Einflufs der Masse des Stiftes und der Gummimembran auf die Schwingungsdauer zu ermitteln suchen. Während wir diese Gröfsen bei den früheren Berechnungen der Dauer von Schwingungen wäfsriger Flüssigkeiten unter dem Einflufs der elastischen Kräfte der Gummimembran ohne Bedenken vernachlässigen konnten, da sie, wie die ersten Experimente gelehrt hatten, von niedrigerer Gröfsenordnung als die Flüssigkeitsmasse im allgemeinen sich ergaben, ist dies nicht ohne weiteres für die Berechnung der Luftschwingungen offenkundig.

Zunächst wollen wir die Massenwirkung der Gummimembran ausmitteln. Wir vernachlässigen bei dieser Untersuchung die geringen Drehungen der einzelnen Elemente der Membran und nehmen an, dafs sich das ringförmige Element: $2y\pi dy \cdot D = dF \cdot D$ immer in der Richtung der x-Achse senkrecht zu dem Anfangsquerschnitt bewege. D sei die Dicke der Membran. Die Deformation der Gummimembran lasse sich immer in die Form: $f \cdot \varphi(y)$, also in eine ähnliche Form bringen, wie wir sie oben bestimmt haben und wie z. B. durch ein Paraboloid gegeben ist. Stellen wir nun die dynamische Grundgleichung:

$$s \cdot dF \cdot D \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = dF \cdot \Delta p$$

auf und summieren die Massenwirkung nach dem d'Alembertschen Prinzip über die ganze Membran, so erhalten wir zunächst folgenden Ausdruck:

$$\Sigma\left(\mu \frac{d^2 x}{d t^2}\right) = \Sigma(d F \cdot \Delta p).$$

Die an den einzelnen Elementen angreifenden Druckkräfte, die auf der rechten Seite der Gleichung unter dem Summenzeichen (Vektorsumme) angegeben sind, lassen sich zu einer resultierenden Kraft nach bekannten Sätzen vereinigen: $= Q \cdot p$, wobei Q der Querschnitt der Manometertrommel oder die Fläche der Membran im undeformierten Zustand ist. Die linke Seite verwandelt sich nach unserer Annahme über die Art der Deformation in:

$$s \cdot D \Sigma\left(d F \cdot \frac{d^2 f}{d t^2} \cdot \varphi(y)\right) = Q \cdot \Delta p.$$

Nun erinnern wir uns an frühere Entwicklungen (s. S. 495) und erkennen, dafs

$$\int_0^\varrho f \cdot \varphi(y) d F \doteq f \cdot F(\varrho) = V_m$$

$=$ der Gröfse der Ausbauchung der Membran ist ($\varrho =$ Radius der Membran). Unsere Gleichung wird also zu:

$$D s \frac{d^2 V_m}{d t^2} + \Sigma(M') = Q p = -E' V_o \cdot Q \quad . \quad . \quad \text{(Gl. 21)}$$

Hier soll $\Sigma(M') =$ der Summe der übrigen schwingenden Massen sein. Dabei müssen wir aber bedenken, dafs das V_m der linken Seite ein anderes ist als dasjenige der rechten, wenigstens bei der von uns vorgenommenen Art der Eichung; denn wir haben bei den Volumeichungen, durch die wir die Abhängigkeit des Drucks von den Volumverschiebungen in dem Anfangsquerschnitt der Röhre festgestellt haben, immer das geringe noch in der Manometertrommel zurückgebliebene Luftvolum einbezogen. Man könnte diesen Unterschied wohl vernachlässigen, da die wirksame Masse der Gummimembran immer nur sehr gering ist. Wir wollen aber doch, da das Mittel zu einer Ausgleichung der Verschiedenheiten der beiden Volumina durch die Eichung gegeben wird und die betreffenden Zahlen leicht aus unserer obigen

Tabelle 5 entnommen werden können, die Formel nach dieser Richtung erweitern. Das Verhältnis der beiden Volumina V_m / V_0 ist gleich $\frac{F(\varrho) \cdot f}{V_0}$ oder gleich $F(\varrho)$, multipliziert mit der Verschiebung des Stiftes und dividiert durch die gleichzeitige Verschiebung der Volumina durch den Anfangsquerschnitt, der bei der Feststellung von E' ermittelt wird, d. h. gleich $F(\varrho)$, multipliziert mit dem reziproken Wert des Quotienten, der in der Spalte 8 der obigen Tabelle 5 für einige Versuche angegeben worden ist. Wir wollen diesen Quotienten mit R bezeichnen. Die wirksame Masse der Membran wird dann zu: $\frac{s\,D}{Q m} \times \frac{F(\varrho)}{R}$ . . . (Gl. 22).

Der Wert für die wirksame Masse der Gummimembran, die sich nach unseren Entwicklungen jetzt einfach zu der übrigen Masse der Flüssigkeit oder der Luft addieren läfst, ist sehr gering. Ich stelle einige Werte in der folgenden Tabelle zusammen, wobei die Annahme zu Grunde gelegt worden ist, dafs die Deformation der Membran eine paraboloide Gestalt annimmt, d. h. $x = f \cdot \frac{\varrho^2 - y^2}{\varrho^2}$ und das $F(\varrho)$ der Formel zu $\frac{\varrho^2 \pi}{2}$ wird, wodurch M' sich zu $\frac{s \cdot D}{2 R} = \frac{m}{2 Q R}$ . . . . (Gl. 23) vereinfacht. m bedeutet die Masse der Membran.

Tabelle 10.

(M' für die Membran.)

	Druck	ϱ	D	Q	m	R	M'
9. VI.	0 cm	0,73	0,064	0,419	0,0263	0,24	0,133
11. »	0 »	0,73	0,057	0,419	0,0225	0,24	0,112
12. »	0 »	0,97	0,057	0,739	0,0397	0,42	0,064
12. »	10 »	0,97	0,057	0,739	0,0397	0,61	0,044

Bei dem Versuch vom 22. VI. wurde eine Membran von denselben Dimensionen wie am 12. VI. verwendet.

Wir sehen also aus der Tabelle 10, dafs die wirksame Masse M' der schwingenden Gummimembran bei den früheren Versuchen über die Schwingungen der Flüssigkeitssäulen überhaupt nicht in Betracht kommt und sogar, wie aus den späteren

Berechnungen noch näher hervorgeht, keinen wesentlichen Einfluſs auf die Dauer einer Schwingung der Membran des Luftmanometers ausübt.

Die wirksame Masse des Stiftes.

Ebenso geringfügig wie die Masse der Gummimembran war bei unseren Versuchen, wie wir sogleich sehen werden, die Masse des Stiftes. Auch sie hat kaum einen Einfluſs auf die Dauer der Luftschwingungen.

Doch ist die Untersuchung der wirksamen Masse des Stiftes von viel gröſserer theoretischer und praktischer Bedeutung für die Kritik der Manometer, da, wie aus den späteren Ausführungen hervorgehen wird, die Masse des Hebels auf diejenige eines auf der Membran angebrachten Stiftes reduziert werden kann.

Die Auswertung der wirksamen Masse des Stiftes bietet groſse Schwierigkeiten. Streng genommen, müſsten wir eine besondere Versuchsreihe zu ihrer Ermittelung ausführen. Bei der Massenwirkung des Stiftes tritt uns nämlich ein ganz neues Moment entgegen, das bisher noch nicht zur Geltung kam. In der vorhergehenden Analyse konnten wir immer annehmen, daſs die Trägheitskräfte ihre Wirkung gleichmäſsig an der ganzen Membranfläche ausüben. Sie wirken also ähnlich wie ein hydrostatischer Druck. Schon für die Trägheitskräfte der Membran ist dies nicht streng der Fall. Durchaus ungültig ist diese Annahme bei der Berechnung der Massenwirkung des Stiftes, falls seine Masse allein in Betracht kommt. Diese Trägheitskräfte greifen in der Mitte der Membran in dem Teil der Fläche der Membran, die mit dem Stift verklebt ist, an. Durch die Wirkung dieser Trägheitskräfte erfährt die Membran sicher eine andere Deformation als unter dem Einfluſs von gleichmäſsig über ihre Fläche verteilten Kräften, also von hydrostatischen Drucken. Diese Voraussetzung lag bisher allen unseren Entwicklungen zu Grunde. Durch die lebendige Kraft des Stiftes werden also andere elastische Kräfte geweckt als durch die Bewegungen der in den Röhren schwingenden Flüssigkeit. Wir müſsten die Gröſse der elastischen Kraft kennen, die durch eine

in der Mitte der Membran an dem Stift angreifende Last erzeugt wird, um streng die Dynamik des Stiftes durchführen zu können.

Eine solche Bestimmung habe ich bis jetzt noch nicht ausgeführt. Da aber unter allen Umständen bei dem Stiftmanometer die Trägheitskräfte des Stiftes gegenüber den anderen in Form hydrostatischer Drucke wirkenden der Flüssigkeitssäulen sogar bei den Luftschwingungen nicht in Betracht kommen, wie wir sogleich sehen werden, so nehmen wir zunächst an, dafs bei allen diesen Schwingungen die Deformationen dieselben sind wie unter statischen Verhältnissen, dieselben also wie bei den Feststellungen der elastischen Kräfte, die unter dem Einflufs der Volumverschiebungen geweckt werden. Wir müssen dann zusehen, wie wir einen annähernden Begriff von der Wirkung der anders gearteten, durch die Massenwirkung des schwingenden Stiftes hervorgerufenen Deformationen erhalten können. Wir werden aus den späteren Beobachtungen der Schwingungen des Hebelmanometers sehen, dafs wir für unseren jetzigen Zweck auf diese Weise genügend genaue Berechnungen der wirksamen Masse des Stiftes anstellen können.

Bei den folgenden Entwicklungen nehmen wir an, dafs der Stift von der Masse m fest mit der Membran verbunden ist. Die Entfernung des Stiftes von der Gleichgewichtslage soll also immer gleich dem Biegungspfeil f sein. Proportional der Entfernung f von der Gleichgewichtslage sei, wie wir dies ähnlich bis jetzt immer angenommen haben, die elastische Kraft P, die ihn zur Gleichgewichtslage zurückzuführen bestrebt ist. Der Proportionalitätsfaktor sei $= C$. Es bedarf keiner besonderen Ausführung, dafs dieser Faktor in den verschiedenen Exkursionsbezirken des Stiftes nicht konstant zu sein braucht (s. S. 505). Wir erhalten also die dynamische Grundgleichung für die Bewegung des Stiftes:

$$m \frac{d^2 f}{d t^2} = -C \cdot f.$$

Diese Gleichung ist natürlich für alle Elastizitätsverhältnisse gültig. Jetzt machen wir aber die besondere oben schon entwickelte Voraussetzung, dafs bei den Schwingungen des Stiftes

die elastische Kraft aus denselben Deformationen hervorgehe wie unter der Einwirkung hydrostatischer Drucke. Wir setzen also für unseren Faktor C:

$$C = \frac{\Delta P}{\Delta f} = \frac{\varrho^2 \pi \cdot \Delta p}{\Delta f},$$

wobei ϱ den Radius der Membranfläche bedeutet. Multiplizieren wir Zähler und Nenner dieser Quotienten mit ΔV, so erhalten wir:

$$C = \frac{\varrho^2 \pi \cdot \Delta p \cdot \Delta V}{\Delta f \cdot \Delta V}.$$

$\Delta p / \Delta V$ ist nun aber gleich unserem E'. Der Zweck der letzten Operation war, wie ersichtlich, C auf eine Funktion von E' zurückzuführen. Ferner ist $\frac{\Delta V}{\Delta f}$ gleich dem Reduktionsfaktor R (s. Tab. 5). Unsere dynamische Grundgleichung wird dann zu:

$$\frac{m}{\varrho^2 \pi \cdot R} \cdot \frac{d^2 f}{d t^2} = -E' \cdot f$$

und für die wirksame Masse des Stiftes erhalten wir:

$$M_s' = \frac{m}{\varrho^2 \pi \cdot R} = \frac{m}{Q \cdot R} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{(Gl. 24)}$$

Diese wirksame Masse kann dann zu der anderen Masse der Gummimembran und der Flüssigkeitssäule addiert werden.

Die Berechnung ist unter der Voraussetzung angestellt worden, daſs die Trägheitskräfte des Stiftes über die Membran gleichmäſsig verteilt sein sollen.

Wir können aber auch annähernd die Gröſse der wirksamen Masse ermitteln für den Fall, daſs die Trägheitskräfte in der Mitte der Membran allein wirken. Wir wollen dabei eine Berechnung aus der Festigkeitslehre zu Hilfe nehmen. Nach Föppl, Technische Mechanik III, S. 270 ist die Gröſse des Biegungspfeils einer elastischen Platte unter der Einwirkung einer in der Mitte der Platte angebrachten Last viermal so groſs, als wenn diese Last gleichmäſsig über die ganze Fläche verteilt ist. Wir können zunächst diese Beziehung auch für den Gummi als gültig annehmen, wenn sie auch natürlich hier noch näher geprüft werden muſs. f hängt auch von der Gröſse der Fläche ab, auf

welche die Last in der Mitte wirkt. Auch spielt das Biegungsmoment bei dem Gummi keine Rolle etc. Wir wollen aber zunächst nur angenäherte Vorstellungen erhalten. Sie werden uns später bei der Theorie der Hebelmanometer zu sehr wichtigen Folgerungen dienen. Trift dies nun für den Gummi zu, so wird unser Proportionalitätsfaktor der dynamischen Grundgleichung ein Viertel von C, und wir erhalten für die wirksame Masse des Stiftes $\frac{4m}{Q \cdot R}$ (Gl. 25), d. h. den vierfachen Wert des in der Formel 24 berechneten. Nun erscheint der Spielraum für die Berechnung von M' wohl sehr weit. Wir werden aber später bei der Berechnung der wirksamen Masse des Hebels klar erkennen, dafs wir für den leichten Stift den Wert der Formel 24 annehmen dürfen, d. h. annehmen dürfen, dafs durch die Trägheitskräfte des Stiftes in Verbindung mit der Luft die Membran ähnlich deformiert wird wie unter der Einwirkung eines hydrostatischen Drucks, also etwa die Form eines Paraboloids annimmt.

Unsere beiden Ableitungen zur Berechnung der wirksamen Masse der Gummimembran und des Stiftes gelten zunächst — unter den erwähnten Voraussetzungen — für die Schwingungen der Gummimembran bezw. des Stiftes allein unter dem Einflufs der elastischen Kräfte der Membran. Wenn ich oben gesagt habe, dafs man die auf unserem Wege ermittelte Gröfse der wirksamen Masse einfach zu den anderen Massen, sei es der Flüssigkeit oder der Luft, addieren könne, so lag dieser Behauptung die Annahme, die wir bis jetzt in analoger Weise immer bei unseren Ableitungen gemacht haben, zu Grunde, dafs dann nicht auf die Masse der Membran bezw. des Stiftes der ganze h y d r o s t a t i s c h e Druck wirke, sondern nur das Differential desselben, das eben jeweilig gleich der Massenwirkung der schwingenden Masse oder gleich ihren Trägheitskräften sei. Bei der Summierung dieser Druckdifferentiale ergibt sich dann, wie bei allen unseren Entwickelungen, der volle Druck $p = - E' \cdot V$. Dafs diese Massen zu den übrigen Massen $\Sigma(M_1)$ addiert werden sollen, ist in den verschiedenen Formeln zum Ausdruck gebracht worden.

Wir wollen nun unser M', das für jeden Stift nicht ein für allemal gegeben ist, sondern noch von dem Faktor R und der Gröfse der Membranfläche abhängt, für einige Versuche berechnen. Für den Faktor R tritt, wenn die in dem Manometer vorhandene Luftblase bei den Volumeichungen nicht in Betracht kommt, $F(\varrho)$ ein (s. S. 503 Anm.).

Tabelle 11.

Wirksame Masse des Stiftes. Das Gewicht (Masse) des Stiftes betrug: 0,012 g.

Versuch vom	Druck		R	Q	M'
9. VI.	= 0	cm Hg,	$R = 0{,}236$,	$Q = 0{,}419$:	$M' = 0{,}121$
11. »	» = 0	» »	$R = 0{,}240$,	$Q = 0{,}419$:	$M' = 0{,}119$
12. »	» = 0	» »	$R = 0{,}420$,	$Q = 0{,}739$:	$M' = 0{,}039$
12. »	» = 10	» »	$R = 0{,}610$,	$Q = 0{,}739$:	$M' = 0{,}027$

Bei den Versuchen mit der schwingenden Flüssigkeit kommt dieser Wert, wie ein Blick auf die Tabelle 4 lehrt, durchaus nicht in Betracht, wohl aber dient er, wie der analoge, für die Gummimembran zu einer kleinen Korrektur bei der Berechnung der Schwingungsdauer der schwingenden Luftsäule.

Die wirksame Masse der Luft bei dem Lufttransmissionsverfahren.

Als ich an die Analyse der Schwingungen einer Flüssigkeit, die in Röhren unter dem Einflufs elastischer Kräfte sich bewegt, heranging, wagte ich nicht die geringste Hoffnung auch auf den verhältnismäfsig einfachen Wegen, die ich hierbei einschlagen mufste, zu einer befriedigenden Auffassung der Dynamik der Lufttransmission zu gelangen. Als ich im Lauf dieser Untersuchung durch die grofse Übereinstimmung der theoretischen Analyse mit den experimentellen Ergebnissen mehr und mehr Vertrauen in meine analytische Methode bekam, erwachte in mir die Lust, sie auf die Lufttransmissionsverfahren und den Lufttonographen, anzuwenden. Glücklicherweise hatte ich im Laufe des Sommersemesters nebenbei einige Versuche mit Schwingungen von Luftsäulen unter dem Einflufs elastischer Membranen angestellt, so dafs ich in ihnen sowohl einen Fingerzeig für das Verfahren, das ich bei den analytischen Entwickelungen einschlagen mufste, besafs, als auch nachher an ihren Ergebnissen

die Genauigkeit meiner theoretischen Überlegungen wieder prüfen konnte. Die Anordnung bei den Experimenten war genau dieselbe wie bei den bisherigen Versuchen, nur daſs ich die Röhren, welche das Druckreservoir mit der Manometertrommel verbanden, statt mit Wasser oder wäſsrigen Lösungen, also mit im allgemeinen als inkompressibel zu betrachtenden Flüssigkeiten, mit einer elastischen Flüssigkeit — mit Luft — erfüllte. Die ersten Versuche, die ich so anstellte, hatten das in qualitativer Richtung wichtige Ergebnis, daſs die unter dem Einfluſs einer plötzlichen Druckänderung erzeugten Schwingungen der Membran eine auſserordentlich kurze Dauer hatten; gegenüber den mit Flüssigkeiten angestellten, ja bei den nicht sehr groſsen Geschwindigkeiten der Kymographiumtrommel, konnte man den Eindruck aus den Kurven haben, als ob ein streng aperiodischer Übergang erfolgte. Das war insofern von Bedeutung, als ich aus ihnen ersah, daſs ich bei meinen Versuchen über die Schwingungsdauer von wäſssrigen Flüssigkeiten, bei denen sich die Schwingungsdauer im allgemeinen von einer ganz anderen, höheren Gröſsenordnung zeigte, die Massen der Luftsäulen, die noch in dem Röhrensystem vorhanden waren, die Masse der schwingenden Gummimembran und die Masse des auf ihr aufgeklebten Stiftes vernachlässigen konnte. Von der Masse der Gummimembran und des Stiftes habe ich dies soeben rechnerisch nachgewiesen. Es wird sich im Laufe unserer nunmehr erfolgenden Entwickelungen quantitativ prüfen lassen, ob diese Annahme, der wir bei unseren bisherigen Betrachtungen ausnahmslos gefolgt sind, wirklich berechtigt war.

Ich war geneigt, bei den Schwingungsversuchen, bei denen die Röhren, wie ich soeben geschildert habe, mit Luft gefüllt waren, der Masse des Stiftes den Haupteinfluſs auf die Gröſse der Schwingungsdauer zuzuschreiben in den Fällen, in denen sich überhaupt eine Schwingungsdauer aus den Kurven ermitteln lieſs.

Ein Versuch, den ich eigentlich nur anstellte, um den Einwurf endgültig zu beseitigen, daſs bei den in den vorhergehenden

Abschnitten behandelten Versuchen über die Schwingungsdauer von wäfsrigen Flüssigkeiten verschieden grofse Luftmengen eine Rolle gespielt haben könnten, ein Einwurf, der nach allen vorhergehenden Erörterungen überhaupt eine gröfsere Bedeutung nicht besitzen konnte, belehrte mich, dafs bei dem Zustandekommen der Schwingungen einer Membran, an die eine Luftsäule angeschlossen ist, im allgemeinen die Luft wesentlich beteiligt ist. Ich verband (Versuch 22. VI.) einmal eine mit einer Membran von $E' = 1523$ überspannte Trommel mit dem Druckgefäfs durch eine mit Luft gefüllte 10 cm lange Röhre, in einem zweiten Fall war diese Röhre ebenso weit, aber 70 cm lang. (Die letztere Röhre habe ich bei vielen der oben beschriebenen Versuche benutzt.) Während ich nun bei den ersterwähnten Schwingungen die Dauer wegen ihrer Kürze und der geringfügigen Amplituden nicht feststellen konnte, also die Bewegung als annähernd aperiodisch zu bezeichnen war, waren in dem letzten Fall die Amplitüden deutlich voneinander zu trennen und die Schwingungsdauer konnte zu 1,22/100 Sekunden bestimmt werden. Da in dem zweiten Fall die Reibung sicher bedeutender war, als in dem ersten Fall, da aufserdem die Verzögerung der Einwirkung der plötzlichen Druckänderung durch die länger dauernde wellenförmige Fortpflanzung in diesem Fall noch bedeutender war als in dem ersten Fall, alles Momente, die zu einer Verkleinerung der Amplitüden hätten beitragen sollen, so war durch diesen Versuch festgestellt, dafs bei der Luftübertragung die Masse der Luft eine wesentliche Rolle spielt, wohlgemerkt natürlich, wenn, wie bei unseren Versuchen, die Massen des Stiftes und der Membran des Stiftmanometers so gering sind, wie unsere Berechnungen des vorigen Abschnitts ergeben haben.

Dies war eine Veranlassung, bei der Analyse der Schwingungen das Hauptaugenmerk auf die Bestimmung der wirksamen Masse der Luft zu legen. Die Entwickelungen eines früheren Abschnittes über die Ableitung der Gröfse der wirksamen Masse von Flüssigkeiten, die in elastischen Röhren Schwingungen ausführen, werden uns hierbei von grofsem Nutzen sein. Wir könnten die Gleichungen ohne weiteres auf die Verhältnisse in

unsere jetzigen Ableitungen herübernehmen, es blieben jedoch dann formelle Bedenken wegen der Bedeutung des Koeffizienten φ bestehen, da bei unserem jetzigen Fall keine Erweiterung des Querschnittes der Röhre durch den Druck erfolgt. Wir wollen die Entwickelung an die allgemeine Elastizitätslehre der elastischen Flüssigkeiten anschliefsen und den gewöhnlichen Elastizitätskoeffizienten der elastischen Flüssigkeiten in die Gleichungen einführen. Wir nennen ihn χ. Er ist gleich dem Druckzuwachs, den eine Kompression der Volumeinheit der elastischen Flüssigkeit hervorruft. Wenn die Kompression des ganzen bis l reichenden Volumens ΔV_l beträgt, dann ist die Kompression der Volumeinheit $= \frac{\Delta V_l}{V_l}$. Es besteht also die Elastizitätsbeziehung:

$$\chi = -\frac{\Delta p}{\Delta V_l} \cdot V_l = -\frac{\Delta p}{\Delta V_l} \cdot Q \cdot l,$$

wobei wir Q den Querschnitt der Röhre genannt haben. Diese Beziehung gilt für die in der Röhre eingeschlossene Luft allein. Wenn die Röhre an das Manometer von dem Elastizitätskoeffizienten E' angesetzt ist, haben wir, ähnlich wie oben, bei den elastischen Röhren:

$$\Delta V_l = -\frac{\Delta p}{E'} - \frac{\Delta p}{\chi} \cdot Q \cdot l.$$

Und für das Verhältnis des durch den Querschnitt l durchtretenden Volums zu dem den Anfangsquerschnitt passierenden erhalten wir:

$$\frac{\Delta V_l}{\Delta V_0} = \frac{-\frac{\Delta p}{E'} - \frac{\Delta p}{\chi} \cdot Q \cdot l}{-\frac{\Delta p}{E'}} = 1 + \frac{E' \cdot Q \cdot l}{\chi} \qquad \text{(Gl. 26)}$$

Die dynamische Grundgleichung für das Massenelement $s \cdot Q \cdot dl$ lautet dann:

$$s \cdot Q \cdot dl \frac{d^2 x}{dt^2} = Q \cdot dp \text{ oder } \frac{s \cdot dl}{Q} \frac{d^2 V_l}{dt^2} = dp$$

und wenn wir den Wert von $\frac{\Delta V_l}{\Delta V_0}$ nach Gleichung 26 einsetzen, das d'Alembertsche Summierungsprinzip anwenden und für $\Sigma dp = -E' \cdot V$ schreiben, so ergibt sich:

$$\sum \left\{ s \frac{dl}{Q} \left(1 + \frac{E' \cdot Q \cdot l}{\chi}\right) \frac{d^2 V}{dt^2} \right\} = -E' \cdot V.$$

Vernachlässigen wir die geringe Veränderung des spezifischen Gewichtes (Dichte) der Luft durch den Druck und legen ihr ein konstantes mittleres s bei, so können wir auf der linken Seite die Summierung ausführen, und wir erhalten:

$$\frac{d^2 V}{dt^2} \cdot \frac{s}{Q} \int_0^L dl \left(1 + \frac{E' \cdot Q \cdot l}{\chi}\right) = - E' \cdot V,$$

ähnlich wie oben (S. 524).

Daraus ergibt sich nun unser M' zu:

$$\frac{s}{Q} \int_0^L dl \left(1 + \frac{E' \cdot Q \cdot l}{\chi}\right) = \frac{s}{Q} \left(L + \frac{E' \cdot Q \cdot L^2}{2\chi}\right) = \frac{s \cdot L}{Q} + \frac{s \cdot E' L^2}{2\chi}$$

und T zu:

$$2\pi \sqrt{\frac{sL}{Q \cdot E'} + \frac{sL^2}{2\chi}} \quad \ldots \ldots \quad \text{(Gl. 27)}$$

χ ist aber nach dem Mariotteschen Gesetz gleich p_m, d. h. gleich dem mittleren Druck, unter dem die Luft bei den Schwingungen steht. Man erhält also für M' der Luftsäule in der Röhre:

$$\frac{sL}{Q} + \frac{sE' \cdot L^2}{2p_m}, \quad \ldots \ldots \quad \text{(Gl. 27a)}$$

oder, da der mittlere Druck p_m und die Dichte der Luft s sich proportional verändern, so erhalten wir für $\frac{s}{2p_m}$ (bei 15° C.) eine bestimmte Zahl, nämlich: $6{,}05 \cdot 10^{-10}$. M' wird dann zu:

$$\frac{s \cdot L}{Q} + \frac{6{,}07}{10^{10}} \cdot E' L^2 \quad \ldots \ldots \quad \text{(Gl. 27b)}$$

Schliefsen wir die Röhre statt durch eine Gummimembran durch eine feste Wand ab, setzen also $E' = \infty$, so erhalten wir den einfachen Ausdruck: $T = 2\pi L \sqrt{\frac{s}{2p_m}}$, oder nach unserer soeben angestellten Berechnung:

$$T = 1550 \cdot 10^{-7} \cdot L \quad \ldots \ldots \quad \text{(Gl. 27c)}$$

Sollte es sich bei den Luftschwingungen nicht, wie es bei diesen Ausdrücken angenommen worden ist, um isotherme, sondern um adiabatische Zustandsänderungen handeln, so wäre $\chi = k \cdot p_m$ zu setzen. Auf diese Frage kommen wir noch zurück.

Wir sind nun in der Lage, unsere Versuchsergebnisse mit den Folgerungen aus der theoretischen Analyse vergleichen zu können. Ich stelle die Werte der Versuche in der folgenden Tabelle 12 zusammen. Ich erinnere nochmals daran, dafs die Versuche so angeordnet waren, dafs die Röhren und das Manometer, beide mit Luft gefüllt, in Verbindung mit dem Luftdruckreservoir gesetzt wurden, um die Schwingungen zu erzeugen, es sich also um die Prüfungen eines Lufttransmissionsverfahrens handelt. Über die Prüfung des Lufttonographen (Fick und v. Frey) werde ich in einem besonderen Kapitel sprechen.

Tabelle 12.

Luftschwingungen.

	Druck	E'	L	Q	T
9. VI.	0	1 974	ca. 70 cm	0,113	1,09
11. »	10	11 560		0,113	0,91
12. »	0	1 817		0,113	1,23
22. »	0	1 523	70	0,066	1,22
22. »	10	5 720	70	0,066	1,09

Hier fällt uns nun sofort der geringe Einflufs der Gröfse des elastischen Koeffizienten E' auf die Schwingungsdauer auf. Er wechselte bei den Versuchen um das Sechsfache und die Schwingungsdauer nur um etwa 30%. Als ich dies schon bei meinen ersten Experimenten bemerkte, glaubte ich es den Ungenauigkeiten der Versuchsanordnung zuschieben zu müssen, ich dachte auch an Partialschwingungen der Membran, kurz ich sah hier Erscheinungen, für die ich keine bestimmte Erklärung zur Verfügung hatte. Alles dies war der Grund, warum ich diesen Versuchen nur eine geringe Beachtung schenkte, andernfalls würde ich die Analyse jetzt schon strenger an der Hand der Experimente prüfen können, als dies bei den wenigen Versuchen möglich ist. Meine Formeln (Gl. 27), die ich erst im Verlauf der theoretischen Bearbeitung der Versuchsergebnisse entwickelte, eigentlich auch nur zu einer Korrektur für die Berechnung der Schwingungen der Flüssigkeitssäulen verwenden wollte, geben nun klar und bestimmt Auskunft über den Einflufs

der Gröfse von E' auf die Schwingungsdauer der Luftsäulen. Sie zeigt, dafs dieser Einflufs nicht in dem Mafse vorhanden ist, wie bei den Schwingungen der Flüssigkeitssäulen, so dafs E' sogar dann, wenn es im Verhältnis zu der Kompressibilität der Luft grofs ist, eine verschwindende Rolle spielen kann. Annähernd war dieser letzte Fall bei unseren sämtlichen Versuchen verwirklicht. Dagegen ist der Einflufs der Länge der schwingenden Luftsäule auf die Schwingungsdauer viel beträchtlicher, da die wirksame Masse im Extrem proportional dem Quadrat der Länge, bei den Schwingungen der inkompressiblen Flüssigkeiten dagegen proportional der einfachen Länge ist.

Berechnen wir nach unserer Formel für die beiden Versuche vom 22. VI., die sich allein wegen der genaueren Bestimmung der Konstanten dazu eignen, aus den Konstanten die Schwingungsdauern, so erhält man folgende Zahlen, die ich mit den wesentlichen Versuchsdaten in der Tab. 13 zusammenstelle. Die unter den nach der Formel 27a berechneten Werten in Klammern aufgeführten Zahlen sind unter der Annahme berechnet, dafs es sich um adiabatische Zustandsänderungen handelt.

Tabelle 13.

Druck	E'	s	$\frac{s \cdot L}{Q}$	$\frac{s \cdot L^2 \cdot E'}{2\, p_m}$	M'_{m+s}	$\Sigma (M')$	T ber.	T beob.
0	1523	0,00116	1,23	4,52 (3,23)	0,10	5,86 (4,56)	**1,28** (1,09)	**1,22**
10	5720	0,00132	1,41	16,9 (12,1)	0,07	18,4 (13,6)	**1,18** (0,97)	**1,09**

M'_{m+s} bedeutet die wirksame Masse von Membran und Stift, $\Sigma(M')$ die Gesamtsumme der wirksamen Massen.

Es zeigt sich also eine aufserordentlich befriedigende Übereinstimmung der Rechnung mit den Versuchsergebnissen. Ich mufs gestehen, dafs ich von dieser Übereinstimmung überrascht war. Bei den Vereinfachungen, die wir in die Entwickelung eingeführt haben, bei den aufserordentlich kleinen Massen ist die Übereinstimmung über alle Erwartung gut. Ja, unsere

Formel gibt einen ganz guten quantitativen Ausweis über den Einfluſs von E' auf die Schwingungsdauer. Es wäre natürlich im höchsten Maſse interessant für die Erledigung einer Reihe sich hier aufdrängender Fragen, diese Versuche noch weiter auszudehnen.

Unsere Versuchsergebnisse stimmen am besten mit der Annahme, daſs die Zustandsänderungen in der Luftsäule im wesentlichen isotherm und nicht adiabatisch verlaufen. Auf den ersten Blick scheint dies nicht wahrscheinlich, da man ja weiſs, daſs die Theorie der Schallerscheinungen, insbesondere die Berechnung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls (Newton) in der Luft, denen, wie wir noch genauer sehen werden, diese Erscheinungen natürlich sehr verwandt sind, erst dann zu einer befriedigenden Übereinstimmung mit den Versuchsergebnissen geführt hat, als man die Zustandsänderungen in der Luft als adiabatische aufgefaſst hat (Laplace). Nun haben aber neuere Versuche mit Sicherheit ergeben, daſs die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls in engen Röhren beträchtlich geringer sein kann als in der freien Luft. So hat Kundt[1]) durch seine Versuche der Staubschwingungen gezeigt, daſs die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in einer 3,5 mm weiten Röhre nur mehr 305 m/Sek. beträgt gegenüber 333 m in der offenen Luft. Man hat als Grund für die Abweichung angenommen, daſs in engen Röhren die Zustandsänderungen nicht mehr streng adiabatisch verlaufen. Unsere Röhre war nun noch enger (2,8 mm weit) als die von Kundt benutzte; es ist also sehr wahrscheinlich, daſs die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls in einer solchen Röhre noch bedeutend geringer ist, daſs man also die Zustandsänderungen in einer solchen Röhre als isotherm verlaufend ansehen muſs. Es ist selbstverständlich, daſs diese Frage durch meinen einzigen Versuch keine abschlieſsende Lösung erfährt, doch hat man durch diesen Versuch immerhin einen wichtigen Fingerzeig für die Anstellung weiterer Versuche erhalten.

---

1) Pogg, Annal. 135 S. 337 u. 527 nach Winkelmanns Handbuch der Physik, I, S. 820.

Einen ganz unwesentlichen Einflufs auf das Resultat hat eine etwaige Ungenauigkeit in der Berechnung der wirksamen Masse des Stiftes oder der Membran. Die Werte verschwinden gegenüber den Werten für die wirksame Masse der Luftsäulen, so dafs, wenn auch der berechnete Wert der wirksamen Masse des Stiftes nur halb so grofs ist wie der wirkliche ist, das Resultat unbeeinflufst bleibt. Mehr als das Doppelte kann er aber nach den Erörterungen, die wir an die Berechnung der wirksamen Masse des Hebels bei dem Hebemanometer anknüpfen, nicht betragen haben.

Beziehungen der Analyse des Lufttransmissionsverfahrens zu der Theorie der Schallwellen.

Bei allen unseren bisherigen Ableitungen der Schwingungsdauer von Flüssigkeiten, die in elastischen Röhren schwingen oder von elastischen Flüssigkeiten, die in starren Röhren schwingen, haben wir eines Umstandes nicht gedacht, dem wir jetzt eine besondere nachträgliche Beachtung schenken wollen: der wellenförmigen, mit einer gewissen Geschwindigkeit erfolgenden Fortpflanzung des Drucks. Wir müssen jetzt die Frage nach den Beziehungen unserer Entwickelungen zur Wellenlehre erörtern und zusehen, ob diese Lehre in Übereinstimmung mit unseren Resultaten steht. Es ist zweifellos, dafs, wenn wir uns von vornherein bei unserer Analyse auf diese Lehre gestützt haben würden oder uns überhaupt, so will ich gleich hinzufügen, stützen könnten, dafs wir dann ein gröfseres Gefühl der Sicherheit gehabt hätten. Vielleicht hätten diese Entwickelungen auch mehr geleistet als unsere elementar gehaltenen, die nur unter gewissen Vereinfachungen durchführbar waren. Die Differentialgleichungen für die wellenförmige Fortpflanzung der Verschiebungen hinzuschreiben, wäre nicht schwer gewesen. Auch die speziellen Grenzbedingungen, die sich aus den Elastizitätsbeziehungen im Anfang und Ende der Röhre (hier Druck gleich 0), ergeben, lassen sich in unserem Fall unschwer festsetzen. Anders steht es dagegen mit der weiteren Verwertung dieser Gleichungen. Ich sehe bis jetzt keinen Weg zur Integration dieser Differential-

gleichungen. Die Übereinstimmung der Versuchsergebnisse mit unseren theoretischen Entwickelungen, die infolge verschiedener Vereinfachungen von gewöhnlichen statt der partiellen Differentialgleichungen ausgehen konnte, zeigt, dafs wir uns mit unseren Ableitungen nicht zu weit von der allgemeineren Wahrheit entfernt haben konnten. Sie werden sich also wohl mit den Lehren der Wellentheorie in Übereinstimmung zeigen. An einem Grenzfall will ich zeigen, dafs dies in der Tat der Fall ist.

Unsere Entwicklungen basieren im wesentlichen auf der Annahme, dafs alle in der Röhre befindlichen Massenteilchen sich in jedem Zeitmoment nur nach einer Richtung bewegen. Wäre dies nicht der Fall, so hätte selbstverständlich eine Summierung der Trägheitskräfte oder der Massenwirkung nach dem d'Alembertschen Prinzip gar keinen Sinn.[1]) Nun erinnern wir uns, dafs eine Bewegungsform der Wellen diese Eigenschaft besitzt, diejenige Form der Wellen, bei denen (ebenen Wellen) sich die Verrückungen durch eine Funktion von der Form $F = \psi(x) \cdot T(t)$ darstellen lassen (einer ähnlichen Funktion, wie wir sie oben (s. S. 494 u. S. 529) schon öfter zu Summierungen verwendet haben): die stehenden Wellen. In der Tat, wenn wir für einen Augenblick die geringen Verrückungen der Membran, gering im Verhältnis zu den übrigen Verrückungen der Luft, vernachlässigen oder E' als unendlich grofs ansehen, haben wir in unserer Anordnung die volle Bedingung zu stehenden Wellen, mit einem Wellenbauch an dem Ende der Röhre (Ende nach unserer Definition) und einem Knoten an dem Anfang der Röhre, an der Trommel. Am Ende der Röhre herrscht der Überdruck O, es finden hier die stärksten Verrückungen statt, am Anfang der Röhre dagegen die gröfsten Verdichtungen und Verdünnungen. Diese stehenden Wellen entstehen durch Reflexion an der jetzt

1) Mir scheint es, dafs man sich bei den Ableitungen auch auf einen Satz von W. Thomson über die Menge der Energie, die bei der Fortpflanzung von Luftwellen in Röhren durch einen Querschnitt der Röhre übertragen wird, stützen kann. Nach Thomson ist diese Energie gerade so grofs als die Energie der gesamten Luftmasse, durch welche die Welle sich fortgepflanzt hat, wenn dieselbe sich mit der maximalen Schwingungsgeschwindigkeit bewegt. S. Lange, Theoretische Physik, 2. Aufl., S. 679.

als starr angenommenen Membran. Nun fragt sich, ob wir aus der Wellenlehre die Schwingungsdauer ableiten können. Die Länge der Luftsäule in der Röhre würde nach diesen Annahmen gleich einer viertel Wellenlänge sein. In dem einen Versuch vom 22. VI., dessen wichtige Daten genau bestimmt wurden, betrug die Länge der schwingenden Luftsäule ca. 70 cm, die ganze Wellenlänge würde also 2,80 m betragen haben, die Schwingungsdauer war bei dem höchsten E': $1{,}09/_{100}$ Sek. Aus der Schwingungsdauer und der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Luftwellen zu 280 m (Newtonsche Formel wegen der wahrscheinlich isothermen Zustandsänderungen s. oben!) berechnet sich eine Wellenlänge von 3,05 m. Wir sehen dafs unser Experiment angenähert mit der Annahme stimmt, dafs die Schwingungen der Luft in der Röhre als stehende Wellen aufzufassen sind. Dafs, wenn die Wirkung der Bewegung der Membran strenge vernachlässigt werden kann, das Versuchsergebnis mit der Theorie noch besser stimmt, ist kaum nötig hervorzuheben.

Wir prüfen nun an unserer allgemeinen Formel, ob der Grenzfall $E' = \infty$ die Beziehungen der stehenden Welle ergibt. Wenn wir E' unendlich setzen, erhalten wir für die Schwingungsdauer: $T = 2\pi L \sqrt{\frac{s}{2p}}$ s. Gl. 27 c $= 4 \cdot 43\, L \sqrt{\frac{s}{p}}$. Berechnen wir aus der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Schallwellen, die bekanntlich nach der Newtonschen Formel sich zu $\sqrt{\frac{p}{s}}$ ergibt, die Schwingungsdauer einer stehenden Welle von der Länge $4{,}L$, so erhalten wir: $T = 4\, L \sqrt{\frac{s}{p}}$, einen Wert, der sich von dem nach unserer Formel berechneten nur um 10% unterscheidet. Durch welches Moment bei unseren Entwicklungen dieser Unterschied bewirkt worden ist, vermag ich vorläufig noch nicht zu durchschauen. Wenn wir die Annahme, dafs es sich im wesentlichen um stehende Wellen bei den Schwingungen in der Röhre handelt, für richtig halten, und der sich aus dieser Annahme für den Grenzfall $E' = \infty$ ergebenden letzten Formel den Vorzug geben vor der von uns entwickelten, so können wir eine Korrektur

in unserer Formel anbringen, so dafs die Formel für den Grenzfall den als richtig angenommenen Wert ergibt. Unsere Formel würde dann zu $T = 2\pi \sqrt{\frac{s \cdot L}{Q \cdot E'} + \frac{4 s L^2}{\pi^2 \cdot p}}$ (Gl. 27 d) werden. Ob durch die Korrektur ein wesentlicher Vorteil erreicht wird, vermag ich nicht zu entscheiden. Wir sehen jetzt noch einmal die grofsen Vorzüge der Entwicklung, die wir vorgenommen haben. Sie hat uns auf mühelose Weise dazu geführt, auch den Einflufs der Elastizität E' auf die Schwingungsdauer festzustellen. Dafs sie in viel gröfserem Umfang, als es durch unsere Versuche geschehen ist, durch Experimente gesichert werden kann, ist klar. Einem Umstand werden, wie ich glaube, beide Untersuchungsarten nicht gerecht. Es ist die grofse Verlangsamung, mit der sich bei den Luftschwingungen auf die plötzliche Druckänderung an dem Ende der Röhre, welche die Schwingungen hervorruft, die Membran auf den neuen Druck einstellt. Ich mufs mir hier versagen, auf diese Erscheinung näher einzugehen, betone jedoch, dafs die Wellentheorie, in der im allgemeinen nur periodische Einwirkungen behandelt werden, nicht ohne weiteres diese Erscheinung zu erklären vermag. Vielleicht aus dem Grunde, weil man bei der Wellentheorie im allgemeinen nur unendlich kleine Verrückungen und diese als fest gegeben berücksichtigt. Es wird sich wohl eine Möglichkeit finden lassen, die Erscheinung analytisch und experimentell näher zu verfolgen.

Ganz anders steht es jedenfalls mit den Übermittelungen geringer Verrückungen, wie sie bei dem Lufttransmissionsverfahren vorkommen. Hier wird im allgemeinen die Übermittelung der ursprünglichen Verrückung nach der Wellentheorie ohne Veränderung — abgesehen von der geringfügigen Dämpfung — vor sich gehen. Eine Korrektur wird man hier vornehmen können, wenn man als bewegte Masse den sich aus unserer Formel ergebenden Wert für die wirksame Masse der Luft einsetzt. Natürlich gelten die sämtlichen Erörterungen nur für das Stiftmanometer oder für die ähnlich geformte Mareysche Kapsel. Für das Hebelmanometer kommen in weit höherem Mafse die

Trägheitskräfte des schwingenden Hebels in Betracht, denen gegenüber diejenigen der schwingenden Luft zurücktreten.

Ähnliche Überlegungen, wie wir sie soeben angestellt haben, um unsere Entwicklungen in Beziehung zu der Wellentheorie zu setzen, können wir auch für die Schwingungen von Flüssigkeiten in elastischen Röhren anstellen. Auch hier gilt wohl der Satz, dafs die Länge der Säule, wenn man von der Elastizität der Membran absehen kann, im wesentlichen eine Viertel-Wellenlänge darstellt. Man könnte aus dieser Annahme eine Methode entwickeln zur Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Drucks in elastischen Röhren. Auf alle diese Beziehungen gedenke ich später an anderer Stelle zurückzukommen. Jedenfalls gewinnen unsere Berechnungen der wirksamen Masse der in einem elastischen Schlauch schwingenden Flüssigkeit nach unsern letzteren Erörterungen erneutes Vertrauen.

Die wirksame Masse in dem Lufttonographen.

(A. Fick und v. Frey.)

Während man aus den vorhergehenden Ableitungen eine genügende Vorstellung über die Massenwirkung, die bei dem Lufttransmissionsverfahren zur Geltung kommt, bekommen konnte, wird man die analogen Ableitungen für den Lufttonographen, der in offener Verbindung mit einem mit Flüssigkeit gefüllten Röhrensystem, also etwa mit den Gefäfsen des Körpers steht, nach anderen allerdings nahe liegenden Gesichtspunkten vornehmen müssen. Bei den Druckbestimmungen mit diesem Instrument dringt nämlich stets Flüssigkeit aus dem Gefäfssystem in die Manometerröhre ein. Man ist auch genötigt, diese Röhre zum Teil mit einer Flüssigkeit zu füllen, welche die Gerinnungen vermeiden soll. Bei dem Lufttonographen liegen also die Verhältnisse so, dafs nicht nur die schwingende Luftsäule eine Massenwirkung hervorruft, sondern auch die in die Röhre eingedrungene Flüssigkeit. Wir müssen also diese zusammengesetzte Massenwirkung festzustellen suchen. Die Überlegungen, die wir dazu anstellen mufsten, sind ganz analog den von S. 526 behandelten über die Wirkung der zwischen feste Röhren ein-

geschalteten elastischen Schläuche. Die Volumverschiebung, die für die ganze Flüssigkeitssäule nach dem Kontinuitätsgesetz konstant ist, wird durch die eingeschaltete Luftsäule in dem S. 538 festgestellten Verhältnis gegenüber der Volumverschiebung in dem Anfangsquerschnitt vergröſsert. Für weitere eingeschobene Luftsäulen würde dann die Volumverschiebung der nächsten Flüssigkeitssäule nach einem ähnlichen Verhältnis gegenüber der Volumverschiebung in der vorhergehenden Flüssigkeitssäule vergröſsert. Das Verhältnis der Volumverschiebungen beträgt nach unseren vorausgehenden Entwicklungen:

$$1 + \frac{E' Q \cdot L}{\chi} \quad \ldots\ldots \quad \text{(Gl. 26)}$$

In demselben Verhältnis wie die Volumverschiebung wächst, nimmt aber nach unseren Ableitungen die wirksame Masse zu. Eines der ersten Experimente, die ich anstellte, erwies mir die Richtigkeit dieses Satzes nach der qualitativen Seite. Es war dasjenige, das mich hauptsächlich bestimmte, mich dem Flüssigkeitstonographen zuzuwenden, da es mich zu der nicht unbedingt richtigen Annahme verleitete, daſs die Massenwirkung des Lufttonographen nicht geringer ist als diejenige des Flüssigkeitstonographen mit langen Röhrenverbindungen. Ich will das Experiment (1. VI. 02) anführen, wenn ich auch leider quantitative Angaben darüber nicht machen kann, da ich damals eine genauere Analyse nicht vor hatte, bezw. nicht für möglich hielt. Ich brachte damals in eine Röhre von etwa 3,9 mm Durchmesser eine Flüssigkeitssäule von bestimmter Länge zunächst in möglichst unmittelbare Berührung mit der elastischen Membran, ähnlich wie bei allen Versuchen über die Flüssigkeitsschwingungen, und lieſs sie Schwingungen ausführen. In einem zweiten Versuch trennte ich die ebenso lange Flüssigkeitssäule durch eine Luftsäule von der Membran. Ich erhielt nun in dem zweiten Falle gröſsere Schwingungsdauer als in dem ersten Falle, sie war fast ebenso lang wie wenn ich die etwa 70 cm lange Röhre mit Flüssigkeit angefüllt hätte. Dieses Ergebnis hielt mich leider davon ab, über die Wirkung des Lufttonographen weitere Versuche anzustellen, was ich später nachzuholen gedenke.

Ich mufs hierüber mein Bedauern aussprechen, denn unsere Entwicklungen haben uns wohl nachträglich den Weg gezeigt, auf welche Weise die schädliche Wirkung der Luft in Bezug auf die Vermehrung der Massenwirkung in so hohem Grade vermindert werden kann, dafs der Lufttonograph in gewissen Fällen den Vorzug vor dem Flüssigkeitstonographen verdienen kann, und wahrscheinlich ihm im allgemeinen ebenbürtig ist. Wir sehen aus unseren Entwicklungen, dafs die Massenwirkungen der in dem Lufttonographen befindlichen Flüssigkeitssäule durch die zwischengeschaltete Luftsäule um das $\frac{E' \cdot Q \cdot L}{\chi}$fache vergröfsert wird. Wenn wir bedenken, dafs der Elastizitätskoeffizient χ der Luft gleich dem (durchschnittlichen!) Druck ist, unter dem die Luftsäule des Tonographen steht, bezw. bei adiabatischen Zustandsänderungen gleich $k \cdot p$, und unabhängig von dem Volumen derselben, so erkennen wir, dafs unter sonst gleichen Umständen die Vermehrung der Volumverschiebung und damit die Vermehrung der Massenwirkung durch die Gröfse des Luftvolums: $Q \cdot L$, das in der Tonographenröhre enthalten ist, bedingt ist; je kleiner wir es machen, um so kleiner wird die wirksame Masse der Flüssigkeit. Wenn wir die wirksame Masse auf das geringste Mafs beschränken wollen, müssen wir zunächst die wirksame Masse der Flüssigkeit, die in der Manometerröhre steht, so klein wie möglich machen dadurch, dafs wir den Querschnitt der Röhre an dieser Stelle möglichst weit halten, etwa indem wir die Kanüle so rasch wie möglich in eine Kugel übergehen lassen, damit die Menge Flüssigkeit, die zur Verhütung der Gerinnung dienen soll, nicht zu klein ist. Diese Kugel mufs fast vollständig mit Flüssigkeit angefüllt sein und dann in eine möglichst enge Röhre übergehen, die mit Luft gefüllt ist. Wie wir sehen, kommen wir bei dieser Anordnung auf die Form, die A. Fick und v. Frey für die Verbindung ihrer Lufttonographen oder Federmanometer mit der Arterie gewählt haben. Sie sind also auf empirischem Wege zu derselben Verbindung gelangt, die wir auf theoretischem Wege als die beste erkannt haben. Wir können so für den Lufttonographen zu einer Verminderung der Massen

gelangen, die vielleicht bei dem mit Flüssigkeit gefüllten Manometer auch nur durch besondere Maſsnahmen erreicht werden kann.

Allerdings ist zu bedenken, daſs bei den Registrierungen des Ventrikeldrucks die wirksame Masse der in dem langen Katheter befindlichen schwingenden Flüssigkeitssäule unter ein gewisses immerhin beträchtliches Maſs nicht heruntergedrückt werden kann, daſs man also den einen Teil der Bedingung für die Erzielung möglichst geringer Massen in diesem Fall nur unvollständig einhalten kann. Unsere Entwicklungen geben uns die Mittel in die Hand, in dem einzelnen Fall ziffermäſsig über die Gröſse der Masse zu bestimmen, und schon vor der Anstellung eines Versuchs darüber zu urteilen. Da ich weitere genauere Versuche mit dem eigentlichen Lufttonographen nicht angestellt habe, insbesondere gar nicht über die Gröſse der Dämpfung unterrichtet bin, so kann ich seine Theorie nicht weiter behandeln. Wir haben durch die vorhergehenden Entwicklungen nur Aufschluſs über die Gröſse M' erhalten.

Ich habe die Überzeugung gewonnen, daſs bei dem Lufttonographen die Dämpfung eine besondere Rolle spielt, die man bis jetzt noch nicht übersehen kann. Jedenfalls kommt dabei eine Art Dämpfung in Betracht, wie sie in dem Windkessel einer Feuerspritze wirksam ist. Wir haben in der Kugel ein kleines Luftreservoir, das durch eine lange enge Röhre von der Manometertrommel getrennt ist.

Dieselben Grundsätze, die ich hier entwickelt habe, sind auch bei den von Marey & Chauveau konstruierten Manomètre elastique à Membran de cautchouc befolgt. Es besteht aus einer Röhre, auf die ein Kautschukbeutel aufgebunden ist. Röhre und Beutel werden mit der gerinnungshemmenden Flüssigkeit gefüllt. Die durch die Druckschwankungen erzeugten Bewegungen des Beutels werden durch eine Lufttransmission auf eine Mareysche Kapsel übertragen. Hier ist ebenso wie bei dem Lufttonographen Luft zur Übertragung der Druckschwankungen verwendet. Und ebenso wie bei der v. Freyschen Anordnung für den Lufttonographen ist hier die Vermehrung der Volumverschiebung, welche

die in der Röhre befindliche Flüssigkeit durch die dazwischen geschobene Luft erfährt, durch den eingeschalteten Kautschukbeutel herabgedrückt. Diese Wirkung, die hier der Kautschukbeutel hat, wird bei der v. Freyschen Anordnung durch die Verringerung des Luftvolums erreicht. Es ist natürlich, dafs bei beiden Instrumenten die Konstanten bestimmt werden müssen, damit man zu einem sicheren Urteil der Leistungsfähigkeit des Instrumentes in einem bestimmten Fall gelangen kann. Die vorhergehenden Erörterungen erleichtern diese Bestimmung und geben zugleich die Mittel an die Hand, die Gröfse der wirksamen Masse auf das äufserste Mafs herabzudrücken. Für das Aufschreiben dieser Bewegungen durch Hebelapparate müssen die unten folgenden Erörterungen nachgesehen werden.

Wir sind im stande, noch einige weitere Folgerungen aus unseren Entwicklungen zu ziehen. Zunächst über die Wirkung von Luftblasen in dem Röhrensystem der Manometer. Wir können von ihnen dasselbe sagen, was wir über den Einflufs von Schlauchverbindungen behauptet haben. Die Luftblasen vergröfsern um so mehr die wirksame Masse, je näher sie sich dem Manometer befinden, d. h. je gröfser die Masse ist, die hinter ihnen sich befindet.

Ferner sind wir jetzt auch im stande, die Frage zu behandeln, ob die Luftblase, die bei unseren Versuchen stets in dem Flüssigkeitsmanometer zurückgeblieben war, bei den Berechnungen unserer Schwingungsversuche nicht eine bisher vernachlässigte Fehlerquelle gebildet hat. Wir sehen, dafs dies nicht der Fall ist. Denn durch die Luftblase wird zwar die wirksame Masse nach unseren Festsetzungen um das Verhältnis: $1 + \frac{E' \cdot Q \cdot L}{\chi}$ vergröfsert. Wir haben aber durch unsere Volumeichungen nicht das E' bestimmt, das die Druckerhöhung in Beziehung zu der Ausbauchung der Membran bringt, sondern ein E', das um dasselbe Verhältnis: $1 + \frac{E' \cdot Q \cdot L}{\chi}$ kleiner ist, weil wir bei der Eichung die Luftblase in dem Manometer einbezogen haben. Es ist ja für die Berechnung ganz gleichgültig,

ob wir den Faktor mit der Masse M' multiplizieren, oder in E' dividieren. Wir haben es, wie wir im Anfang unserer Entwicklungen betont haben, vorgezogen, das E', wie es sich aus der Aichung des die kleine Luftblase noch enthaltenden Flüssigkeitsmanometers ergeben hat, als die dem Manometer inhärente Konstante zu betrachten und sie durch alle Änderungen der Röhren-Anordnung etc. unbeinflufst zu lassen. Unsere bisherigen Betrachtungen bleiben also zu Recht bestehen.

Diese Bemerkungen haben auch für den Lufttonographen Geltung, denn unser Flüssigkeitsmanometer ist, wenn man die kleine in der Manometertrommel zurückgebliebene Luftblase in Betracht zieht, auch als ein Lufttonograph zu betrachten.

Die Reduktion der Trägheitskräfte des Spiegels und des Hebels bei den Spiegel- und Hebelmanometern auf diejenige eines auf der Membran aufgeklebten Stiftes.

Zu den bisher beschriebenen Versuchen wurde eine Anordnung benutzt, die ich als Stiftmanometer bezeichnet habe. Die Absicht bei seiner Konstruktion war, die auf beschränkte Stellen der Membram wirkenden Trägheitskräfte auf ein Minimum zu verringern. Nach unseren Darlegungen ist dies auch bei unserer Konstruktion so weit erreicht worden, dafs man von diesen Trägheitskräften im allgemeinen absehen konnte. Die Anwendung des Stiftmanometers ist aber nicht unter allen Umständen möglich. Für gewöhnliche Blutdruckuntersuchungen wird man immer neben dem Quecksilbermanometer die Hebelmanometer anwenden, da sie der photographischen Registrierung nicht bedürfen. Bis jetzt ist jedenfalls bei allen Untersuchungen das Hebelmanometer benutzt worden. Wir müssen also versuchen, unsere Analyse auch auf dieses auszudehnen. Vorher will ich jedoch noch das Spiegelmanometer behandeln, das ich zum ersten Male bei der Konstruktion des Herzindikators angewendet habe. Das Spiegelmanometer wird, weil es immerhin einen so komplizierten optischen Apparat wie das Stiftmanometer nicht erfordert, eher bei Blutdruckversuchen angewendet werden können als das Stiftmanometer. Dem Hebelmanometer und dem Spiegelmanometer

gemeinsam ist die Eigenschaft, dafs die Bewegung der wesentlichen mit der Membran verbundenen Massen eine drehende ist. Es ist schon von v. Frey hervorgehoben worden, dafs die Massenwirkung dieser drehenden Bewegung nicht durch die Masse dieser Teile im gewöhnlichen Sinne bestimmt ist, sondern durch das Trägheitsmoment dieser Massen für die Drehungsachse. Wir wollen uns diese Beziehungen noch einmal vergegenwärtigen, wozu umsomehr Veranlassung besteht, als trotz der klaren Auseinandersetzung v. Freys man immer noch von einem »leichten« oder »schweren« Hebel redet. Unser Ziel ist dabei, die Wirkung der Trägheitskräfte auf die Verbindungsstelle des Hebels mit der Membran festzustellen, wir wollen also die Trägheitskräfte so reduzieren, als ob sie durch die Bewegung der Masse eines an dieser Stelle — der Mitte der Membran — angebrachten Stiftes erzeugt würden (Fig. 12). Wir bezeichnen den Abstand dieser Verbindungsstelle von der Achse des Spiegels oder des Hebels mit a, die Entfernung eines beliebigen Massenteilchens von der Achse mit r, die Bewegungen senkrecht zu der Achsenrichtung mit x. Die an den einzelnen Massenpunkten m angreifenden Trägheitskräfte: $\sum m \frac{d^2 x}{d t^2}$ können durch eine an dem Punkt a angreifende Kraft von der Gröfse $\sum \frac{m \cdot r}{a} \cdot \frac{d^2 x}{d t^2}$ ersetzt werden; x dieses Ausdrucks ist für jeden Massenpunkt verschieden, es ist gleich $\frac{f \cdot r}{a}$, wenn wir unter f die Bewegung des Mittelpunktes der Membran verstehen. Unser Ausdruck für die Wirkung der Trägheitskräfte an dem Punkte a wird dann gleich $\sum \frac{m r^2}{a^2} \frac{d^2 f}{d t^2}$ oder gleich $\frac{d^2 f}{d t^2} \cdot \frac{\Sigma m r^2}{a^2}$, d. h. wir können die Trägheitskräfte des sich drehenden Hebels oder Spiegels ersetzen durch die von einer Masse $\frac{\Sigma m r^2}{a^2}$ (Gl. 28) ausgeübte, die sich fest verbunden mit dem Mittelpunkt der Membran bewegt. Statt der Masse eines hier angebrachten Stiftes erhalten wir also das Trägheits-

Fig. 12.

moment der sich drehenden Masse: $\Sigma m r^2$, dividiert durch das Quadrat des Abstandes a^2 des Mittelpunktes der Membran von der Achse des Hebels. Als Grundfläche dieses fingierten Stiftes hat die Gröfse des Plättchens zu gelten, das, fest verklebt mit der Membran, die Bewegungen der Membran auf den Hebel überträgt. Bei diesen Betrachtungen haben wir ohne Bedenken über die Abweichungen der kreisförmigen Bewegung des Punktes a des Hebels von der geradlinigen absehen können, da es sich immer nur um geringe Winkeldrehungen handelt, bei denen statt des Bogens der Sinus oder die Tangente gesetzt werden können.

Die Beziehung, die wir erhalten haben, indem wir die Trägheitskräfte des Hebels durch eine Resultierende ersetzt haben, die wie die Trägheitskräfte eines Stiftes auf die Mitte der Membran einwirken, ist für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit eines Hebelmanometers von grundlegender Bedeutung. Die reduzierte Masse des Spiegels oder Hebels, wie wir sie nennen wollen, ist, wie schon von Frey hervorgehoben hat, proportional dem Trägheitsmoment des sich drehenden Systems. Wir haben noch die neue Beziehung dazu gefunden, dafs die Masse umgekehrt proportional dem Quadrat des Abstandes der Membranmitte von der Achse des Hebels ist. Ändert man also an dem gleichen Hebel die Vergröfserung, indem man seine Verbindung mit der Mitte der Membran näher an die Achse heranlegt, wie man dies bei vielen Apparaten ausführen kann, so wachsen die Trägheitskräfte oder die Massenwirkung im direkten Verhältnis der Quadrate der Vergröfserungen. Ein sehr wichtiges Moment! Von vielen wird schon bei Aufzeichnungen von Manometerkurven die Beobachtung gemacht worden sein, dafs die »Schleuderung« der Hebel ungemein beeinflufst wird, wenn man die Hebelvergröfserung verändert. Wir haben in unserer Beziehung $M = \frac{\Theta}{a^2}$ ein Mittel, diese Veränderung rechnerisch zu bestimmen.

Konstruktion der Verbindung von Membran und Hebel oder Spiegel.

Ein paar Worte möchte ich hier über die Art der Anordnung sagen, welche die Übertragung der Bewegung des Mittel-

punktes der Membran auf den Hebel vermittelt. Hier mufs die geradlinige Bewegung der Membranmitte in die drehende des Punktes *a* übergeführt werden. Bei verschiedenen Anordnungen wird dies nun so bewirkt, dafs ein Stift, der auf der Membran befestigt ist, an einer glatten Fläche des Hebels gleitet. Bei der ursprünglichen Form der Mareyschen Kapsel führt ein mit der auf der Membran aufgeklebten Platte festverbundenes Rähmchen eine gleitende Bewegung in einem feinen Schlitz des flachen Hebels aus. Die Benutzung einer gleitenden Bewegung kann in vielen Fällen erhebliche Nachteile mit sich bringen, wie ich mich durch viele Versuche überzeugt habe. Abgesehen von einem allenfallsigen Schlottern, liegt die Hauptgefahr bei diesen Verbindungen in der unregelmäfsigen Reibung der Teile aufeinander, in einem Steckenbleiben der Kontaktstelle des Stiftes an der Gleitfläche. Diese Gefahr ist bei der Mareyschen Kapsel, bei der auf die elastische Membran eine gröfsere feste Platte aufgekittet ist, nicht grofs, wenn es auch hier erwünscht wäre, ziffermäfsige Angaben über alle Fehlerquellen zu besitzen, was bis jetzt noch nicht der Fall ist. Durch diese grofse Fläche wird die Gefahr einer Loslösung der Platte von der elastischen Membran stark vermindert, das Rähmchen wird im allgemeinen seine zur Membran senkrechte Stellung beibehalten. Auch ist die Verbindung doch so lose, dafs der Kontakt an der Gleitfläche durch die Trägheitskräfte in einzelnen Momenten der Bewegung aufgehoben wird. Aufserdem kann man in allen Fällen, in denen eine feste Verbindung des Hebels mit der Membran wegen der geringen Trägheitskräfte nicht notwendig erscheint, dann also, wenn der zweite Differentialquotient der Bewegung nicht sehr grofs ist, diese gleitenden Verbindungen anwenden. In solchen Fällen genügt das Drehungsmoment, das von den Schwerkräften bei horizontaler Achsenstellung an dem Hebel erzeugt wird, um den Hebel in genügender Verbindung mit der Membran zu halten. Mathematisch kann man die Bedingung auch dahin formulieren, dafs man sagt: das Moment der Trägheitskräfte mufs immer kleiner sein als das Moment der Schwerkräfte. In derartigen Fällen pflege ich die gleitende Verbindung nicht,

wie es gewöhnlich geschieht, dadurch herzustellen, dafs ich auf die Membran einen Stift aufklebe und diesen nun an einer glatten Stelle des Hebels gleiten lasse, sondern ich verlege die Gleitstelle in die Nähe der Membran, damit die unregelmäfsigen Reibungskräfte, die, an der Gleitstelle angreifend, ein Abhebeln des Stiftes bewirken können, nur ein geringes Drehungsmoment ausüben können. Ich klebe zu dem Zwecke ein kleines Deckglas auf die Membran. Auf ihm gleitet ein abgerundeter Stift von Hartgummi, der in fester Verbindung sich mit dem Hebel befindet. So habe ich es beispielsweise bei dem Volumschreiber gehalten, den ich bei dem Herzindikator verwendet habe. (Fig. 13.) Da hier bei der Verwendung eines Spiegels auch der Auflagerdruck der Achse auf dem Lager, der durch die Schwerkräfte ausgeübt wird, genügend grofs ist, kann man statt einer Achse eine freie Schneide anwenden, die wie bei einer Wage in einem Einschnitt ruht. Eine solche freie Lagerung hat natürlich wegen der geringen Reibung grofse Vorzüge gegenüber einer Achsenlagerung, die bei den kleinen Verhältnissen nie so exakt ausgeführt werden kann.

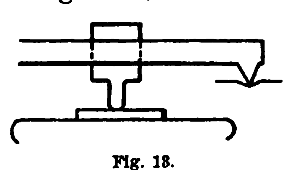


Fig. 13.

Werden dagegen die Trägheitskräfte des Hebels oder des Spiegels bei raschen Bewegungsänderungen zu grofs, so dafs das geringe Drehungsmoment der Schwerkräfte oder eine ähnliche geringe Kraft nicht mehr ausreicht, ein stetes Anliegen des Hebels an der Gleitstelle zu bewirken, und ist man genötigt, diese Druckkräfte zu verstärken, indem man etwa einen stärkeren Federdruck anwendet, dann treten bei der gleitenden Bewegung leicht diese Übelstände, von denen ich soeben gesprochen habe, auf. Es ist eben technisch nicht möglich, eine absolut glatte Fläche herzustellen.[1])

Mufs man also gröfsere Kräfte wirken lassen, um die stete Verbindung des Hebels mit der Membran zu erhalten, so wird

1) Ich erinnere mich, irgendwo in einer Abhandlung von v. Kries ähnliche Bemerkungen über ein Steckenbleiben des Stiftes bei dem Federmanometer gelesen zu haben, kann jedoch die Stelle nicht finden.

man im allgemeinen zu Gelenkverbindungen greifen müssen. Es sind zur Verbindung des Hebels mit der Membran, wenn man unsymmetrische Verbiegungen der Membran durch Hebelwirkung vermeiden will, zwei Gelenkverbindungen erforderlich, wie man aus einer einfachen geometrischen Betrachtung ersehen kann. Da die Herstellung von Achsenlagern an diesen Stellen wegen der minutiösen Verhältnisse sehr schwierig erscheint, so habe ich schon seit einigen Jahren eine Anordnung angewendet, bei der nur Spitzenlagerung angewendet wird. Zum ersten Male habe ich die Anordnung auf der Naturforscherversammlung zu München demonstriert. Sie besteht darin, dafs ich auf die Membran eine Metallplatte aufklebe, die in ihrer Mitte eine konische Vertiefung besitzt (einen sogenannten Körner). Eine ähnliche Vertiefung (oder mehrere solche, wenn man verschiedene Hebelvergröfserung erzielen will) sind an der Unterfläche des Hebels angebracht. Zwischen diese beiden Vertiefungen wird ein doppelt zugespitzter Stift gelagert. Um ihn stets, da die Schwere des Stiftes etc. nicht dazu ausreichen würde, an die Lager anzudrücken, binde ich von Haken oder Ösen, die an dem Plättchen angebracht sind, ausgehend eine schmale gespannte Gummischnur über den Hebel und Stift herum. Hierdurch ist die freie Beweglichkeit des Stiftes gesichert, ohne dafs er sich aus seinen Lagern entfernen kann. (Fig. 14.)

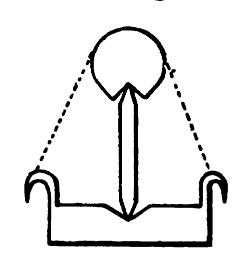


Fig. 14.

Auf diese Weise war sowohl bei dem Hebelmanometer als auch bei dem Spiegelmanometer die Verbindung mit der Membran hergestellt. Den Spiegel befestigte ich in folgender Weise an der Achse des Manometers: Mit der Achse, um die sich der Spiegel drehen sollte, ist fest ein T förmiges kleines Gestell verbunden, das etwa so grofs wie der Spiegel (2 cm Durchmesser) ist. Auf diesem Gestell, das sich etwas über einem kurzen Röhrenansatz H für den Hebel befindet, kann der Spiegel gut gelagert werden. Um den Spiegel nach Bedürfnis herausnehmen zu können, ist er nicht fest auf diesem Gestell aufgekittet, sondern durch zwei kleine Federn f an das Gestell angedrückt. Die

Anordnung ist in dem nebenstehenden Aufrifs angedeutet. (Fig. 15.) Ich hielt diese technischen Daten über die von mir verwendeten Instrumente nicht für überflüssig. Ich glaube im Gegenteil, dafs diese Verhältnisse noch in viel sorgfältigerer Weise als bis jetzt sonst geschehen ist, berücksichtigt und vor allem nach richtigen Prinzipien der technischen Mechanik geprüft werden müssen. Geschieht dies nicht, so werden sich immer wieder zunächst unkontrollierbare Zweifel an der Richtigkeit der Registrierung erheben lassen.

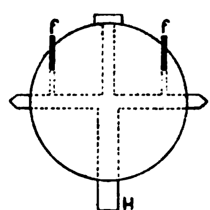


Fig. 15.

Die wirksame Masse bei dem Spiegelmanometer.

Um die Bewegungen des Spiegels auf dem photographischen Film zu registrieren, liefs ich die von dem horizontalen glühenden Stäbchen einer Nernstlampe ausgehenden Lichtbündel durch ein photographisches Objektiv auf den Spiegel des Manometers, dessen Achse horizontal gestellt war, fallen. Von hier aus wurden sie reflektiert und gelangten zu einem feststehenden Spiegel, der sich in dem Vorsatzkästchen des photographischen Apparates[1]) befand, wurden hier erneut reflektiert und auf den senkrechten Spalt des Apparates geworfen, um sich hier durch die Wirkung des Objektivs zu einem scharfen Bild des horizontalen glühenden Stäbchens zu vereinen. Durch diese Anordnung wird es ermöglicht, die Bewegungen des Spiegels aufzunehmen und zu gleicher Zeit von vornher noch andere Bewegungen auf den Spalt zu projizieren. Bei unseren Versuchen wurde neben der Bewegung des Spiegels noch die Zeit, Sekunden und kürzere Intervalle, registriert. Die nebenstehende Abbildung einer mit diesem Apparat aufgenommenen Schwingung des Spiegelmanometers möge das Gesagte erläutern. (Fig. 16.) Es wäre so auch möglich gewesen, noch die Bewegungen eines Stiftmanometers und dergleichen auf den Film zu projizieren.

Die wirksame Masse des auf die oben geschilderte Weise an der Achse befestigten Spiegels zeigte sich nun wohl beträcht-

1) S. Zeitschr. f. Biol. Bd. 41.

lich gröfser als diejenige des leichten Stiftes, den wir bei den früheren Versuchen an dem Stiftmanometer verwendet hatten. Aber die Masse ist immer noch so klein, dafs sie bei allen Versuchen, bei denen das Röhrensystem mit Flüssigkeit gefüllt ist, zu vernachlässigen ist; sie ist aus diesen Versuchen nicht zu berechnen. Etwas mehr macht sie sich bei den Versuchen geltend, bei denen das Röhrensystem mit Luft gefüllt ist. Wir wollen sie aus einem solchen Versuch 20. VII. 02 berechnen. Im Versuch betrug die Schwingungsdauer des mit Luft gefüllten Spiegelmanometers bei 8 cm Hg und $E' = 2830$. Daraus berechnet sich M' zu 15,5. M' der in der Röhre befindlichen Luft würde bei $L = 70$ und $Q = 0{,}066$ auf 9,8 nach unseren obigen Entwicklungen zu schätzen sein (s. S. 539). Es verbleibt also für M' des Spiegels (und des Stiftes und der Membranplatte): 5,8, wie wir sehen ein sehr kleiner Wert, der gegenüber den M', die durch Flüssigkeiten erzeugt werden, nicht von Belang ist. In der Tat haben wir auch schon die Daten eines Spiegelmanometerversuchs benutzt, um die Richtigkeit der von uns entwickelten Gesetze der Bewegungen der in Röhren schwingenden Flüssigkeiten zu demonstrieren, ohne dafs wir eine Korrektur für die Massenwirkung des Spiegels angebracht hätten s. Tab. 2, Vers. 10. VII. Das Spiegelmanometer erweist sich also dem Stiftmanometer in Bezug auf die Verringerung der Massenwirkung und die einfache Berechnungsweise annähernd ebenbürtig, wenn man es als Flüssigkeitsmanometer benutzt. Wir könnten jetzt noch prüfen, ob die von uns durch die Schwingungsversuche festgestellte Gröfse der wirksamen Masse des Spiegels mit derjenigen aus seinem Trägheitsmoment und

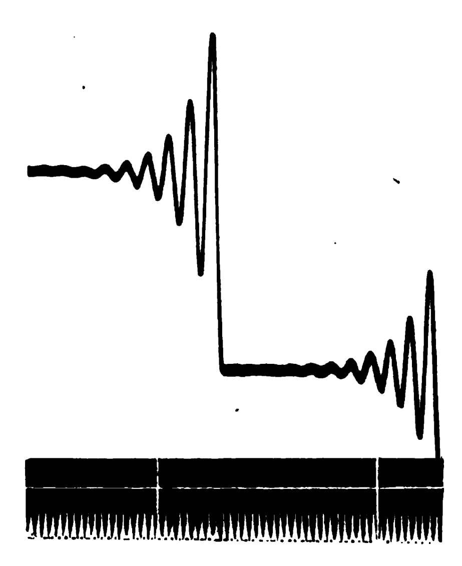


Fig. 16.

den Konstanten ermittelten, die nach den Gleichungen 25 und 26 zur Berechnung nötig sind, übereinstimmt. Aus den Schwingungsversuchen läfst sich das Trägheitsmoment nach den Formeln 24 und 28 berechnen zu: $= M' \cdot a^2 \cdot Q \cdot R$. M' betrug, wie wir soeben festgestellt haben, 5,7, a war $= 0{,}85$, $Q = 0{,}71$ (Weite der Trommel 9,5 mm) und $R = 0{,}61$. Hieraus ergibt sich für das Trägheitsmoment des Spiegels samt Gestell: **1,77.**

Es gibt nun wohl — aufser der Berechnung des Trägheitsmomentes aus den Dimensionen und der Massenverteilung — keine einfache dynamische Methode, die geeignet wäre, so kleine Trägheitsmomente unmittelbar zu bestimmen. Weder die Methode v. Frey[1]), aus der Winkelbeschleunigung und dem Drehungsmoment, das an dem System durch die Schwere bewirkt wird, auf die Gröfse des Trägheitsmomentes zu schliefsen, noch das gewöhnliche Verfahren, es aus der Schwingungsdauer des pendelnden Systems und der Entfernung des Schwerpunktes von der Achse zu berechnen, dürften unmittelbar zum Ziele führen.[2])

Man kann versuchen, um die Bewegungen, die hier analysiert werden, sicherer vor sich gehen zu lassen, ein bekanntes Trägheitsmoment, das sich aus den Dimensionen leicht berechnen läfst, zu dem zu bestimmenden hinzuzufügen, und nun nach einer dieser Methoden das Trägheitsmoment des Gesamtsystems zu bestimmen. Ich habe dies auch nach der zweiten Methode ausgeführt. Da aber hier das unbekannte Trägheitsmoment sich aus einer Differenz einer auf dynamischem Wege bestimmten Gröfse und einer berechneten ergibt, wird man es immer nur sehr fehlerhaft erhalten können. Ich konnte so das Trägheitsmoment des Spiegels ungefähr der Gröfsenordnung nach bestimmen, aber ein genauer Wert war nicht festzustellen.

Es ist auch zu bedenken, dafs das Trägheitsmoment des Spiegels sicher noch unter dem vorhin berechneten liegt, denn

---

1) Ein Verfahren zur Bestimmung des Trägheitsmomentes von Schreibhebeln. du Bois-Reymonds Archiv 1893, S. 485.

2) Vielleicht wäre es jedoch zu erreichen, wenn man Torsionsschwingungen mit dem Spiegel ausführte. Dies erfordert jedoch einen Apparat, den ich vorerst noch nicht zur Hand habe.

durch diese Berechnung wird, wegen der zweifelhaften Beziehung der Formel 24, immer nur ein Maximalwert erhalten.

Man wird also wohl oder übel das Trägheitsmoment aus den Dimensionen zu berechnen suchen. Diesen Weg habe ich jedoch vorläufig noch nicht eingeschlagen, da ich erst mehrere Versuche angestellt haben müfste, um einen strengen Vergleich der auf beiden Wegen erhaltenen Gröfsen anstellen zu können. Der Zweck dieser Erörterung war, im wesentlichen auf die Schwierigkeiten einer derartigen Ermittelung hinzuweisen und zugleich zu demonstrieren, dafs ein mit Kautelen konstruiertes Spiegelmanometer nicht wesentlich gröfsere schwingende Massen besitzt als ein Stiftmanometer.

Die wirksame Masse bei dem Hebelmanometer.

Während die wirksame Masse des Spiegels gegen diejenige der Flüssigkeit in dem Röhrensystem verschwindet, ist dies durchaus nicht mehr bei der Masse des Hebels bei dem praktisch so wichtigen Hebelmanometer der Fall. Sie ist vielmehr von der Gröfsenordnung dieser Massen. Ich habe bis jetzt noch keinen Versuch ausgeführt, bei dem ich die Schwingungskurven des Hebelmanometers auf die berufste Trommel aufschreiben liefs, sondern ich habe, um die unregelmäfsigen Reibungen an der Trommelfläche zu vermeiden, die Registrierung der Kurven ebenfalls auf optischem Wege vorgenommen. Diese Versuchsverfahren wird man immer zunächst einschlagen müssen, ehe man zu dem anderen übergeht. Man würde zu dem Zweck am besten den Schatten des Hebels auf der vorbeiziehenden lichtempfindlichen Fläche entwerfen, ähnlich wie man bei der Registrierung der Zeitintervalle verfährt. Ich habe auch dies nicht getan, sondern den Hebel an dem Spiegelmanometer befestigt, indem ich ihn in die Röhre *H* der Fig. 15 einschob. Dadurch war es mir möglich, die wirksamen Massen des Spiegels und des Hebels bei demselben Instrument zu vergleichen. Die Massenwirkung des Hebels allein konnte ich dann durch Subtraktion der Massenwirkung des Spiegels erhalten. Die Bewegungen des Spiegels wurden durch einen Lichtstrahl in derselben Weise wie vorher registriert.

Das Trägheitsmoment des von mir angewendeten Hebels war so gering als möglich gehalten. Der Hebel bestand aus einem Grashalm, an den als Schreibfeder ein Fischbeinplättchen angefügt war. Es wurde darauf gesehen, dafs die Massen, die entfernt von der Achse lagen, von der Spitze der Feder zunächst möglichst verringert wurden, so dafs ihr Trägheitsmoment möglichst klein ausfiel.

Diesen Bestrebungen, das Trägheitsmoment möglichst zu verringern, setzt die durch die Verringerung der Massen gesteigerte Biegsamkeit der Hebel eine Grenze. Man verläfst sich auch hier meistens auf das experimentelle Geschick oder Taktgefühl bei der Konstruktion dieser Hebel, während es doch durch systematisches Durchprobieren der verschiedenen Materialien möglich wäre, zu bestimmten Vorschriften über die Konstruktion der Hebel zu gelangen.

Das Trägheitsmoment des von mir angewendeten Hebelsystems bestimmte ich, ohne dafs ich behaupten kann, dafs diese Bestimmung den äufsersten Grad der Genauigkeit erreicht hätte, aus der Schwingungsdauer des unter dem Einflufs der Schwere um die Achse pendelnden Systems und dem Abstand des Schwerpunktes von der Achse. Die Schwingungsdauer ermittelte ich einfach durch Auszählen der in einer bestimmten Zeit erfolgenden Schwingungen, genauer hätte ich es durch graphische Registrierung der Pendelschwingungen auf dem von mir bei den anderen Versuchen eingeschlagenen Wege erreichen können. Mein Apparat war aber schon abgebrochen und zu anderen Zwecken verwendet worden, als ich bei der Sichtung meiner experimentellen Resultate vor die Notwendigkeit, eine solche Bestimmung durchzuführen, gestellt wurde. Für eine annähernde Bestimmung, wie wir sie hier zunächst notwendig haben, reicht die Auszählung der Schwingungen aus. Die Lage des Schwerpunktes bestimmte ich dadurch, dafs ich das System an einem feinen Faden suspendierte und die Aufhängestelle so lange veränderte, bis der Hebel in horizontaler Lage schwebte. Die Entfernung des so gefundenen Aufhängepunktes von der Achse mafs ich mit dem Zirkel.

Aus diesen Gröfsen, der Masse des Systems und der Schwerebeschleunigung, berechnet sich bekanntlich die Schwingungsdauer dieses zusammengesetzten Pendels zu $T = 2\pi \sqrt{\frac{\Theta}{g \cdot s \cdot m}}$. Ist, wie in unserem Fall, die Schwingungsdauer bekannt, so ergibt sich $\Theta = \frac{T^2 \cdot g \cdot s \cdot m}{4\pi^2}$. Die Masse betrug in unserem Fall 1,095 für das Gestell mit dem Spiegel und nur 0,165 für den Hebel, g nahm ich zu 981 an, die Entfernung des Schwerpunktes von der Achse fand ich zu 1,235. Das System führte in 7 · 8 Sekunden 5 volle Schwingungen aus. T war also gleich 5/7 · 8. Daraus berechnet sich Θ zu 16,4. Nebenbei gesagt, haben wir in diesem Fall ein sehr eindringliches Beispiel dafür, dafs Masse und Trägheitsmoment durchaus wohl auseinanderzuhaltende Begriffe sind. Der Hebel mit der 6fach geringeren Masse als das Spiegelgestell hat das 10fach gröfsere Trägheitsmoment.

Die Schwingungsversuche, die ich an einem Manometer anstellte, mit dessen Gummimembran dieser Hebel verbunden war, ergaben folgende Zahlen: Ich nehme hier nur die Versuche, bei denen E' bei 9 cm Hg-Druck 2830 betrug, da die anderen dasselbe Resultat hatten. Bei den Schwingungsversuchen befand sich in der 70 cm langen Röhre Luft.

Versuch 20. VII. 03.

No. 3. Mit Hebel $T = 5{,}92$. Hieraus $M' = 252{,}5$.
No. 4. Ohne Hebel $T = 1{,}47$. » » $= 15{,}5$.

Man sieht, wie aufserordentlich die Schwingungsdauer durch das grofse Trägheitsmoment des Hebels vermehrt ist. Sie ist nicht viel von der Schwingungsdauer einer Flüssigkeitssäule von 65 cm, die ich unter dem Einflufs derselben Membran schwingen liefs, verschieden. Diese ergab sich nämlich zu 9,21, was einem M' von 613 entsprach. Man erkennt auch, dafs die bei Hebelmanometern nicht zu vermeidende Masse des Hebels eine sehr beträchtliche ist, denn viel unter das Trägheitsmoment des von mir angewendeten Hebels wird man nicht heruntergehen können.

Wir wollen nun aus dem Trägheitsmoment und den übrigen, nach den Formeln 24 und 28 erforderlichen Konstanten die wirksame Masse berechnen und mit diesem Wert den aus den Schwingungsversuchen resultierenden vergleichen. Die nach diesen Formeln zur Berechnung nötigen Konstanten sind schon für diesen Versuch bei der Berechnung der wirksamen Masse des Spiegels angegeben worden. Bei der Berechnung treten nun für uns groſse Schwierigkeiten auf, die wir zum Teil schon kennen.

Die Genauigkeit der Berechnung der wirksamen Masse des Stiftes oder eines auf die Stiftmasse reduzierten Trägheitsmomentes leidet zunächst durch folgenden Umstand, der sich bei der genaueren Betrachtung der Formel 26 ergibt. Die Konstanten, deren Bestimmung für die Berechnung nach dieser Formel notwendig sind, sind nur schwer genau zu erhalten. Die Entfernung der Membranmitte von der Achse ist eine schwer genau zu ermittelnde Gröſse, zudem es sich bei ihr im allgemeinen um sehr geringe Strecken handelt. Eine Ungenauigkeit der Bestimmung von a macht sich um so fühlbarer, als dieser Wert mit der zweiten Potenz in die Formel eingeht. Auch R ist nur angenähert zu erhalten.

Aber abgesehen von diesen technischen Schwierigkeiten, erwachsen noch prinzipielle Bedenken über die Verwendungsmöglichkeit der Formel 24. Bei dem Hebelmanometer überwiegen jedenfalls die in der Mitte der Membran angreifenden Trägheitskräfte bedeutend gegenüber den anderen durch die Bewegungen der Luft erzeugten, die sich gleichmäſsig über die Membran verteilen, also wie ein hydrostatischer Druck wirken. Die Deformationen, die bei den Schwingungen auftreten, werden also so beschaffen sein, als ob sie allein von in der Mitte der Membran wirkenden Kräften erzeugt würden. Eine Feststellung der durch solche Deformationen geweckten elastischen Kräfte haben wir aber nicht vorgenommen. Wir haben uns in Ermangelung einer direkten Bestimmung an die Berechnung ähnlicher Deformationen, die in elastischen Platten hervorgebracht werden, angelehnt, und haben so die Formel 25 aufstellen können, die besagt, daſs die

wirksame Masse des Stiftes oder eines auf ihn reduzierten Trägheitsmomentes viermal so grofs ist als der unter der Voraussetzung, dafs die gewöhnlichen Deformationen erfolgen, abgeleitete Wert der Formel 24. Wir haben dabei wohl betont, dafs eine solche Berechnung ziemlich problematisch ist, sie sollte uns aber eine annähernde Schätzung erleichtern und wird uns hier, da wir über die Kautelen, die wir einhalten müssen, unterrichtet sind, grofse Dienste leisten.

Nach Formel 25 berechnet sich nun die wirksame Masse des Hebels zu $\frac{4 \cdot 16{,}4}{0{,}61 \cdot 0{,}71 \cdot 0{,}72} = 211$. Gefunden haben wir für M', wenn man die wirksame Masse der Luft von dem oben (S. 563) berechneten Wert abzieht: 243. Die beiden Werte stimmen nun ziemlich gut überein, so dafs man sagen kann, dafs unsere obige Formel in diesen Fällen die Erscheinungen ziemlich gut zusammenfafst. Ich bin aber der Überzeugung, dafs bei genau angestellten Eichungen die Übereinstimmung noch viel weiter geht, und folgere aus dem Umstand, dafs die wirksame Masse bei den Schwingungsversuchen gröfser gefunden wird, als sie sich aus der Berechnung nach der Formel 25 ergibt, dafs diese Formel die wirksame Masse zu klein darstellt oder, was dasselbe ist, dafs eine in der Mitte angreifende Last bei dieser Gummimembran eine noch gröfsere Ausbiegung in der Mitte hervorruft, als wir sie den Berechnungen unserer Formel zu Grunde gelegt haben. Ich schiebe dies im wesentlichen auf den geringen Widerstand, den eine Gummimembran Verbiegungen entgegensetzt, die bei der Aufstellung der Föpplschen Formel eine wesentliche Rolle spielen, da es sich bei dieser um die Deformationen von festen Platten handelt. Dafs die Gröfse der Deformation von der Gröfse der Grundfläche des Stiftes, die in unserem Falle 3,1 mm Durchmesser hatte, etc. abhängt, ist selbstverständlich. Zu der Auffassung, dafs die Deformation noch weiter gehen kann, bringt mich auch noch der Umstand, dafs die Trägheitskräfte, die an der ganzen Membranfläche infolge der Massenwirkung der Luftsäule angreifen, in unserem Versuch nicht ganz zu vernachlässigen sind.

Noch verwickelter werden die Verhältnisse, wenn während der Schwingungen neben den Trägheitskräften des Hebels durch die Schwingungen der Flüssigkeitssäulen Trägheitskräfte auf die Membran übertragen werden, die im wesentlichen als hydrostatische Drucke wirken. Schon bei der Betrachtung der Kurven solcher Schwingungen scheint sich zu ergeben, daſs sie nicht mehr einfache Sinusschwingungen darstellen, sondern daſs sich mehrere Schwingungsformen superponieren. Man sieht auf den langsamer verlaufenden Schwingungen der Flüssigkeitssäulen kürzere Schwingungen aufgesetzt, die vermutlich den Schwingungen des Hebels entsprechen. So scheint es wenigstens bei oberflächlicher Betrachtung der Kurvenbilder. Die genauere Analyse muſs ich mir vorbehalten.

Ich habe nun einen Versuch, der eine genauere Berechnung zulieſs, ausgeführt, bei dem die Verhältnisse so gelagert waren, wie ich sie soeben beschrieben habe. Einmal lieſs ich eine Flüssigkeitsmasse von 65 cm Länge zusammen mit dem Hebel und dem Spiegel, die ich bei allen Versuchen benutzt habe, Schwingungen ausführen. In einem zweiten Versuch lieſs ich den Hebel aus der Hülse weg. In beiden Fällen war die wirksame Masse zu berechnen. Es konnte der Versuch gemacht werden, aus der Differenz die wirksame Masse des Hebels allein zu ermitteln.

Nach den vorhergehenden Erörterungen hat man zu erwarten, daſs dieser Wert mit demjenigen, den man aus den Schwingungen des mit der Membran verbundenen Hebels allein abgeleitet hat, nicht übereinstimmen wird. Dies ist in der Tat der Fall. Ich gebe die Daten des Versuchs vom 20. VII. 1902:

Flüssigkeitssäule 65 cm lang. $E' = 2830$.
Schwingung ohne Hebel: $T = 9{,}21$. Daraus $M' = 613$.
Schwingung mit Hebel: $T = 10{,}1$. Daraus $M' = 740$.

Aus der Differenz erhält man die wirksame Masse des Hebels zu $M' = 127$.

Bei den Schwingungen der Membran mit dem Hebel allein ergab sich die wirksame Masse zu: 252,5.

M' des Hebels war also in dem letzten Falle doppelt so grofs wie in dem ersten. Nach unseren Darlegungen war dieses Ergebnis auch zu erwarten. Nach den Formeln 24 und 25 könnten ja die wirksamen Massen um das Vierfache differieren. In dem Versuch, bei dem neben dem Hebel nur die Masse der Luftsäule in Betracht kam, überwogen die Deformationen, die durch in der Mitte der Membran angreifende Kräfte hervorgebracht werden, sie bedeuten für die Dynamik des Hebels einen kleineren Elastizitätskoeffizienten als in dem zweiten Versuch, bei dem im wesentlichen die Deformationen der auf die ganze Membranfläche verteilten Trägheitskräfte zur Wirkung kamen. In dem letzteren Versuch blieb die wirksame Masse nur mehr etwa das Doppelte der aus der Formel 24 berechneten.

Wir können nun aus dieser Tatsache verschiedene wichtige Folgerungen ziehen. Zunächst beweist dieser Versuch, dafs wir bei der Berechnung der Masse des leichten Stiftes bei dem Stiftmanometer aus der Formel 24 nicht weit von dem richtigen Wert abgekommen sind. Man könnte höchstens in Analogie mit dem soeben beschriebenen Versuch annehmen, dafs die wirksame Masse des Stiftes doppelt so grofs gewesen sei, als sie die Formel 24 ergeben hat. Aber selbst unter dieser extremen Voraussetzung würde dieser Wert keinen Einflufs auf das Resultat der dort angestellten Berechnung der wirksamen Masse einer Luftsäule ausgeübt haben.

Etwas anders steht es mit der Berechnung des Trägheitsmomentes des Spiegels samt seinem Gestell aus den Schwingungsbeobachtungen. Hier verschwindet gewifs nicht die wirksame Masse des Spiegels gegenüber der wirksamen Masse der Luftsäule. In diesem Fall hätten wir zur Berechnung des Trägheitsmomentes des Spiegels aus der wirksamen Masse desselben einen Wert verwenden müssen, der zwischen den Werten der Formel 24 und 25 liegt. Wir können also mit aller Sicherheit sagen, dafs das Trägheitsmoment des Spiegels, wie es sich aus den Schwingungsbeobachtungen berechnet, bedeutend kleiner ist, als es die Berechnung S. 560 nach Formel 24 ergeben hat. Der Wert des

Trägheitsmomentes des Spiegels liegt also mit aller Sicherheit unter 1 (wie immer gqcm).

Aber die Erscheinung hat noch eine prinzipiell wichtige Seite für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Hebelmanometers. Unser Versuch und unsere Darlegungen zeigen uns nämlich, dafs die Massenwirkung der Hebelbewegung sich nicht einfach zu der Massenwirkung der Flüssigkeitsbewegung addieren läfst, d. h. M' des Hebels ist nicht konstant, sondern hängt davon ab, wie grofs die übrige wirksame Masse des Systems ist. Verschwinden diese Massen, wie bei der Lufttransmission, so hat das M' den gröfsten Wert, der etwa dem aus der Formel 25 berechneten entsprechen dürfte. Nehmen diese anderen Massen zu, so nimmt der Wert der wirksamen Masse des Hebels ab, um schliefslich etwa den vierfach geringeren Wert der Formel 24 zu erreichen.

Wir wollen dieses eigentümliche Verhältnis durch ein spezielles Beispiel zu illustrieren versuchen. Man kann annehmen, dafs das Trägheitsmoment eines Hebels nicht bedeutend unter dasjenige des von mir benutzten heruntergebracht werden kann. Gesetzt, es gelänge aber doch, das Trägheitsmoment auf die Hälfte herabzudrücken, so wäre die wirksame Masse bei sonst gleichen Konstanten in dem Fall, dafs keine anderen wirksamen Massen in dem System in Betracht kämen, gleich 125 zu setzen. Nun wird man die wirksame Masse der Flüssigkeiten, die sich in den Röhrenverbindungen bewegen, nicht wohl unter 100 vermindern können. In diesem Falle könnte etwa die wirksame Masse des Hebels auf 60 herabgehen, und wir hätten eine Gesamtmasse von 160 als Minimum. Steigerten wir die wirksame Masse der Flüssigkeit auf 500, so würde die wirksame Masse des Hebels auf 30 zurückgehen. Wir sehen also, dafs in demselben Mafs, als wir die wirksame Masse der Flüssigkeit vermindern, die wirksame Masse des Hebels gröfser wird. Wir kommen also hier rasch an eine unübersteigliche Grenze. Diese Beziehung läfst das Hebelmanometer dem Stiftmanometer weit unterlegen erscheinen.

Wenn auch die wirksame Masse des Hebelmanometers im allergünstigsten Falle bedeutend gröfser als diejenige des Stift-

manometers ist, so brauchte dies kein wesentlicher Nachteil zu sein, man könnte ja die Massenwirkung durch die Korrektur ausgleichen. Hier erhebt sich nun aber eine neue grofse Schwierigkeit. Die wirksame Masse des Hebels ist bei den erzwungenen Schwingungen nach unseren Darlegungen von der Periode oder, genauer gesprochen, von der Beschleunigung $\frac{dV}{dt^2}$ abhängig. Wenn man also eine Korrektur einer mit einem Hebelmanometer aufgeschriebenen Kurve vornehmen will, so mufs man sich eine Tabelle dieser verschiedenen wirksamen Massen des Hebels anlegen, so gut dies möglich ist, und nach dieser Tabelle den Faktor M' je nach der Beschleunigung einsetzen.

Es ist sehr wahrscheinlich, dafs diese verwickelten Verhältnisse des Hebelmanometers die Analyse desselben verzögert haben. In der Auswahl des Stiftmanometers als Grundlage für unsere theoretischen Betrachtungen haben wir demgemäfs einen glücklichen Griff getan.

Es fragt sich nun, ob man nicht bis zu einem gewissen Grade diese unangenehme Eigenschaft der Membranmanometer, deren Bewegungen durch Hebel aufgezeichnet werden, eliminieren kann. Dies kann jedenfalls dadurch geschehen, dafs man die Platte, die auf der Membran aufgeklebt ist, nicht zu klein macht. In diesem Sinne dürften vielleicht die Federmanometer einen Vorzug vor den Gummimanometern besitzen. Man versteht nun auch, dafs bei der Mareyschen Kapsel die Platte, die auf der Membran aufgeklebt ist, verhältnismäfsig so grofs genommen werden mufs. Bei der Mareyschen Kapsel, wenn sie nicht in der Form des Stiftmanometers gebraucht wird, spielt die wirksame Masse des Hebels die Hauptrolle. Ganz verschwinden würde die unangenehme Eigenschaft des Hebels bei einem Manometer, das dem Indikator der Dampfmaschine nachgebildet ist.

Wenn man auch nicht behaupten kann, dafs durch die vorhergehenden Erörterungen die theoretische und experimentelle Untersuchung des Hebelmanometers zu einem Abschlufs gelangt sei, so wird man doch in ihnen wertvolle Fingerzeige für eine Weiterbildung der Kritik dieses Instrumentes erblicken können.

Es sind die Wege eröffnet, auf denen man zu einer sicheren Übersicht über die Leistungen des Hebelmanometers gelangen kann. Man hätte sich ja allein auf die Bestimmung der wirksamen Masse durch Schwingungsversuche beschränken können, ohne dafs man die Ergebnisse dieser Versuche näher theoretisch untersucht hätte.

Wir sind einen Schritt weiter gegangen und haben die theoretische Begründung experimenteller Resultate angebahnt. Es steht zu hoffen, dafs die weitere theoretische und experimentelle Untersuchung der Wirkung dieser Konstanten nach den entwickelten Methoden zu derselben Sicherheit über die Richtigkeit der Ergebnisse führen wird, welche die Feststellung dieser Gröfsen bei dem Stiftmanometer erlangt hat. Es würde dies sehr im Interesse der technischen Verwendung dieser praktisch so wichtigen Manometer gelegen sein.

Rückblick auf die vorausgegangenen Entwicklungen.

In den vorhergehenden Kapiteln haben wir gezeigt, wie man die beiden wichtigen Konstanten der Manometer, den Elastizitätskoeffizienten und die Masse, bestimmen kann. Es hat sich als zweckmäfsig erwiesen, als den Elastizitätskoeffizienten der Manometer die Gröfse $\frac{\Delta p}{\Delta V}$ zu wählen, d. h. das Verhältnis des Druckzuwachses, der in einer mit der Trommel des elastischen Manometers in Verbindung stehenden Flüssigkeitssäule hervorgerufen wird, wenn man eine kleine Menge Flüssigkeit in die Trommel eintreten läfst, zu dieser Volumverschiebung. Dadurch und durch die Konfiguration des ganzen Systems war es notwendig geworden, als Massenkonstante nicht die Masse in dem gewöhnlichen Sinne zu definieren, sondern eine Gröfse, welche die Dimension $m\, l^{-4}$ besitzt. Ich bezeichnete sie als wirksame Masse.

Damit haben wir einen für unseren Zweck sehr einfachen Ausdruck der Massenwirkung erlangt. Die spezielle Konfiguration des Systems hat eine derartige Umformung bedingt, ähnlich wie man genötigt ist, den Begriff des Trägheitsmomentes mit der

Dimension $m\,l^2$ bei Drehbewegungen statt der Masse m einzuführen.

Der wesentliche Nutzen, den uns die vorausgegangenen Entwicklungen gebracht haben, liegt darin, daſs sie gelehrt haben, diese wichtigste Konstante bei den Haupttypen der elastischen Manometer zu bestimmen, dem mit Flüssigkeit oder Luft gefüllten Stiftmanometer, dem Spiegel- oder dem Hebelmanometer und der Mareyschen Kapsel; sei es, daſs diese Manometer und die Verbindungsröhren zu demselben mit Luft oder mit inkompressibler Flüssigkeit gefüllt sind. Es wurden, was noch bedeutsamer ist, die Mittel gezeigt, durch welche diese Massenkonstante verringert werden kann.

Ich habe diese Konstante die wichtigste der elastischen Manometer genannt und kann diese Behauptung folgendermaſsen begründen. Die Entstellungen der registrierten Kurven sind um so gröſser, je gröſser die beiden Konstanten, die Massenkonstante und die Dämpfungskonstante ist. Die letztere kann nun ohne besondere Vorsichtsmaſsregeln immer leicht so klein gehalten werden, daſs ihr Einfluſs sich nicht bemerkbar macht. Auſserdem sind die Entstellungen, die durch sie herbeigeführt werden, im allgemeinen nicht so auffällig als diejenigen, die durch die Massenkonstante bewirkt werden. Es werden durch die Dämpfung nicht neue Maxima und Minima erzeugt. Eine Korrektur der Entstellungen, welche durch die Dämpfung hervorgerufen werden, ist leichter möglich, weil für sie nur der erste Differentialquotient für die Korrektur der Massenwirkung der viel schwerer genau zu ermittelnde zweite Differentialquotient festgestellt werden muſs. Nun kann man zwar, wie ein Blick auf das allgemeine Integral lehrt, die schädliche Wirkung der Massen durch einen gröſseren Elastizitätskoeffizienten paralysieren, diese beiden Konstanten wirken sich immer im allgemeinen entgegen. Dadurch werden aber natürlich die Exkursionen des registrierenden Apparates verkleinert, und der eigentliche Zweck der Anwendung dieser Instrumente, die Druckschwankungen zu bestimmen und dem Auge sinnfällig zu machen, illusorisch. Man braucht nur in Gedanken den Elastizitätskoeffizienten unendlich groſs zu machen,

um zu sehen, dafs man dann etwas erzielt, was man gewifs nicht gewünscht hat, nämlich, dafs das Manometer, das in diesem Fall durch eine feste Wand geschlossen wäre, überhaupt keine Exkursionen mehr macht. Auch durch Vergröfserung der Dämpfung kann man bis zu einem gewissen Grad die schädliche Wirkung der Masse verringern, man macht das Instrument aperiodisch durch diese Dämpfung. Dadurch wird aber eine neue Entstellung der Kurven hervorgerufen, die sehr schnell die Entstellung durch die Masse übertreffen kann. Es dreht sich alles also zunächst um die Massenkonstante. Können wir dieselbe beliebig verkleinern, so kann man den Elastizitätskoeffizienten nach Belieben klein machen, d. h. die Exkursionen des Manometers beliebig vergröfsern. Wir können auch dann die Dämpfung beliebig verringern, und so ihre schädliche Wirkung aufheben. Diese beliebige Verkleinerung ist natürlich nicht möglich. Man wird also, wie ich schon betont habe, den Hauptnutzen unserer vorhergehenden Entwicklungen darin sehen, dafs sie die Mittel angegeben haben, diese Verkleinerung der Masse auf das äufserste Mafs durchzuführen. Für die Flüssigkeitssäulen haben die Entwicklungen zum ersten Male überhaupt den Begriff der Masse festgestellt. Die Korrektur, die dann noch notwendig wird, nachdem die Masse auf das mögliche Minimum reduziert ist, wird durch die genaue Feststellung der Massenkonstante, für die ich die Wege angegeben habe, ermöglicht.

Man wird es jetzt begreiflich finden, warum ich den Erörterungen über die Massenwirkung einen so breiten Raum in meinen Ausführungen gelassen habe.

Meine in den letzten Kapiteln berichteten Untersuchungen haben gezeigt, dafs es durchaus nicht unmöglich ist, die Kritik der elastischen Manometer an die Machschen Gleichungen anzuknüpfen. Es scheint sogar, als ob sich die Machschen Gleichungen am leichtesten auf die Theorie der elastischen Manometer anwenden liefsen. Diese Auseinandersetzungen mufsten unumgänglich in die mathematische Form gekleidet werden. Kein anderer Weg als derjenige der mathematischen Analyse leitet durch das Gewirre der Erscheinungen hindurch.

Nur ein genaues Studium des Ganges dieser Analyse ermöglicht ein Urteil über ihre Notwendigkeit und über ihre Zuverlässigkeit. Ohne dasselbe kann man sich leicht der Täuschung hingeben, dafs derartige komplizierte Betrachtungsweisen, wie wir sie angewendet haben, durch einfachere Kriterien ersetzt werden können, die von verschiedenen Autoren, in erster Linie von K. Hürthle, für die Leistungsfähigkeit der Manometer gegeben worden sind.

Ich bin mir der Schwierigkeiten einer sachgemäfsen Kritik, welche der allgemeinen Verbreitung solcher Anschauungen, wie sie in meiner Abhandlung niedergelegt worden sind, im Wege stehen, wohl bewufst. Ich halte es aber doch für richtig, zur Vorsicht bei der Verwendung von Folgerungen, die aus den einfachen Sätzen Hürthles gezogen werden können, zu mahnen, und sehe mich daher genötigt, meinen Standpunkt gegenüber den von Hürthle aufgestellten Kriterien bestimmt hervorzuheben. Hürthle hat den Satz ausgesprochen: »dafs die Ermittelung der Flüssigkeitsmenge, welche das Manometer zur Ausgleichung einer bestimmten Druckdifferenz erfordert, das wichtigste Kriterium für die Leistungsfähigkeit bezw. Trägheit des Apparates abgibt.«[1] Und ferner hat er erklärt: »Dasjenige Manometer ist also das beste, welches zur Erzeugung eines bestimmten hydrostatischen Drucks den geringsten Aufwand von Arbeit erfordert und in seinen Bewegungen durch die Schreibvorrichtung nicht gestört wird.«[2] Den letzten Satz hat er auch in einer späteren Abhandlung aufrecht erhalten.[3]

Wer meine Abhandlung aufmerksam durchgelesen hat, wird wissen, dafs ich die in diesen Sätzen niedergelegten Kriterien für nicht zureichend und im analytisch-mechanischen Sinne nicht für klar genug halte.

Die beiden Sätze, die im wesentlichen Identisches aussagen, kann man nicht so verstehen, dafs dasjenige Instrument, dessen Ausschläge die Zirkulationsverhältnisse am wenigsten stören, das

1) Beiträge zur Hämodynamik. 1. Abh. Pflügers Archiv Bd. 43 S. 408.
2) a. a. O. S. 415.
3) Beiträge zur Hämodynamik. 9. Abh. Pflügers Archiv Bd. 55 S. 334.

beste sei. Abgesehen davon, daſs dieser Sinn von Hürthle nirgends bestimmt betont ist, muſs auch diese Voraussetzung bei einem jeden Instrumente in ausreichendem Maſse erfüllt sein, wenn es einer Kritik überhaupt unterworfen werden soll. Erst, wenn diese Bedingung erfüllt ist, kann die eigentliche Kritik des Instrumentes beginnen. Die Bedingung liegt auſserhalb der Machschen Gleichungen, könnte aber wohl mathematisch fixiert werden. Daſs sie im allgemeinen bei den in Betracht kommenden Instrumenten nicht in den Vordergrund tritt, geht aus den Hürthleschen Angaben selbst hervor.

Sieht man nun von dieser Vorbedingung ganz ab, so ist bei den Hürthleschen Sätzen die Dämpfung durchaus unberücksichtigt. Ihr wollen wir ein besonderes Kapitel in unseren Auseinandersetzungen widmen. Läſst man aber auch diese Konstante beiseite, so bildet das Hürthlesche Kriterium im besten Fall ein Charakteristikum für unsere Konstante E', die Elastizitätskonstante des elastischen Manometers, speziell des Stiftmanometers. Dabei ist aber zu bedenken, daſs erst durch meine Abhandlung eine exakte Definition dieser Konstante geschaffen und die Notwendigkeit der Aufstellung einer solchen nachgewiesen worden ist.

Daſs sie für das Hebelmanometer nicht ausreicht, ist in einem besonderen Kapitel auseinandergesetzt worden.

Hält man an der von mir gegebenen Definition fest, so ist noch immer für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit eines elastischen Manometers unumgänglich notwendig die Ermittelung einer weiteren Konstante, die ich als die wirksame Masse bezeichnet habe. Sie ist bei dem Stiftmanometer im wesentlichen durch die Konfiguration des auſserhalb des eigentlichen Manometers befindlichen Teils des ganzen Systems bedingt.

Man wird sich wohl darüber erstaunen können, daſs die im Prinzip vollständig richtigen, meinen Darlegungen ganz ähnlichen Einwendungen, die v. Frey auf Grund der Machschen Gleichungen gegen die Hürthleschen Sätze vorgebracht hat, keine Beachtung gefunden haben. Es ist trotz dieser Einwendungen

das Hürthlesche Kriterium allgemein als richtig angenommen worden.

Damit hat man aber nicht allein v. Frey ignoriert, sondern auch Mach, und dessen Überlegungen stützen sich wieder in letzter Linie auf das dynamische Grundgesetz von Newton bezw. die Erweiterung, die ihm von d'Alembert gegeben worden ist. Wollte man also im Kampf den richtigen Gegner treffen, so hätte man sich gegen Mach wenden müssen, denn dessen Ausführungen über die Leistungen des Sphygmographen gelten für jedes Instrument. Bei der alleräufsersten Vereinfachung der analytisch-mechanischen Betrachtungsweise sind für die Analyse dieser Instrumente immer drei Konstanten, eine Elastizitätskonstante, eine Massenkonstante und eine Dämpfungskonstante notwendig. Dafs, wie wir später sehen werden, zur Korrektur der von einem elastischen Manometer aufgeschriebenen Kurven zwei aus diesen Gröfsen gebildete Quotienten genügen, verschlägt nichts an der Richtigkeit dieses Satzes.

Die Machschen Entwickelungen können nicht durch derartige einfache Sätze, wie sie von Hürthle aufgestellt worden sind, ersetzt werden.

Auf Einzelheiten, die in dem Streit über die Richtigkeit der von einzelnen Manometertypen aufgezeichneten Kurven zutage getreten sind, gehe ich hier nicht näher ein.

Kritik anderer Registrierverfahren.

In dieser Abhandlung sollte hauptsächlich eine Kritik der Membranmanometer geliefert werden. Man kann jedoch die hier auseinandergesetzten Methoden ebenso gut auf jedes andere Registrierinstrument anwenden. Wir haben Schwingungsbeobachtungen angewendet, die drei wichtigen Konstanten zu ermitteln. Vorher mufs jedoch die Machsche Gleichung in einer dem betreffenden Registrierinstrument angepafsten Form, wie es früher von v. Kries für das Quecksilbermanometer und jetzt von mir für das Membranmanometer geschehen ist, aufgestellt sein. Die Ergebnisse der Schwingungsbeobachtungen müssen mit den Folgerungen der Theorie verglichen werden, damit die Sicher-

heit des weiteren Vorgehens erhöht wird. Es kann jedoch nicht genug betont werden, dafs bei diesen Schwingungsbeobachtungen die Massen des Instruments dieselben sein müssen wie bei der Registrierung der Bewegungsvorgänge, die man kontrollieren will.

Unsere Ausführungen können also im Prinzip auf jedes Instrument ohne weiteres übertragen werden. Es lassen sich jedoch aus unseren Entwickelungen schon einige wichtige Winke für die Ausführung dieser Arbeiten für einzelne Instrumente ableiten.

Über die Untersuchung der Manometer mit metallischer elastischer Membran statt der Gummimembran braucht nichts Näheres gesagt zu werden. Sie hat ganz nach denselben Prinzipien zu erfolgen, wie wir sie in dieser Abhandlung entwickelt haben. Ein besonderes Interesse hat die Untersuchung dieser Manometer deshalb, weil man erwarten mufs, dafs die Nachdehnungserscheinungen, die in so vielfacher Weise von Einflufs auf die Leistungen des Manometers sind, nur in geringerem Mafse auftreten als bei den Gummimanometern. Auch über eine Untersuchung der Leistungen der sog. Federmanometer braucht nichts Besonderes gesagt zu werden. Es steht zu erwarten, dafs sie in Bezug auf die Nachdehnungserscheinungen in der Mitte zwischen den Gummimanometern und den Metallmembranmanometern stehen.

Von Baylifs und Starling[1]) ist ein Manometer konstruiert worden, bei dem der zu registrierende Druck durch die Vermittelung einer Flüssigkeitssäule auf ein sehr kleines Luftvolum (in einer Kapillare eingeschlossen) wirkt. Die in der Kapillare vor sich gehenden Verschiebungen des Flüssigkeitsmeniskus zeigen den Druck an, der auf das Luftvolumen wirkt, und werden auf photographischem Wege registriert. Die Untersuchung dieser Anordnung wäre deshalb von Interesse, weil E' nach den Angaben von Baylifs und Starling auf diese Weise bei genügend grofsen Kurven einen Wert erhalten kann, wie es sicher bei keinem anderen Instrument der vorgenannten Art möglich ist. Berechnet man unser E' nach den Angaben von Baylifs und Starling, so erhält man den enormen Wert von

1) Internat. Monatsschr. f. Anat. u. Physiol. Bd. 11 S. 426.

3970000 grofsen Einheiten. Nach dieser Seite wäre das Instrument als ganz hervorragend zu bezeichnen und durch kein anderes zu übertreffen. Aber es ist doch verfehlt, zu behaupten, dafs die von diesem Instrument gelieferten Kurven absolut richtig sind bezw., dafs sie als Standardkurven (s. a. a. O. S. 429) zu gelten haben, ehe das Instrument einer eingehenden Prüfung nach den in unserer Abhandlung auseinandergesetzten Methoden unterzogen worden ist. Die von Baylifs und Starling zu dem Zweck unternommenen Prüfungen beruhen auf denselben unrichtigen Voraussetzungen, auf denen die Hürthleschen aufgebaut sind. Berechnet man die Gröfse M' aus einer Angabe von Baylifs und Starling über Schwingungsbeobachtungen, dafs nämlich die Dauer dieser Schwingungen 1/63 Sek. betragen habe, so kommt man zu einer ganz enormen Gröfse der wirksamen Masse, nämlich zu 23800. Der Wert ist so bedeutend, dafs man vermuten könnte, dafs derartige Manometer anderen Gesetzen folgen als den von uns entwickelten. Dies braucht jedoch durchaus nicht der Fall zu sein. Man bedenke nur, dafs eine einzige Luftblase von 2,5 mm Durchmesser, die sich in der Nähe der Kapillare in dem Röhrensystem befindet, den Wert der wirksamen Masse um das 40fache, eine solche von 5 mm Durchmesser die Masse um das 300fache vergröfsert. Es ist also gewifs nicht nötig, zu der an sich unwahrscheinlichen Annahme zu greifen, dafs ein solches Kapillarmanometer anderen Gesetzen folgt als wir sie entwickelt haben. Man erkennt aber auch, dafs so hohe Elastizitätskoeffizienten, wie sie das Manometer von Baylifs und Starling besitzt, ihre Schattenseiten haben. Irgend welche geringfügige elastische Eigenschaften des Röhrensystems verändern die Konstanten aufserordentlich. Aus der von Baylifs und Starling mitgeteilten Schwingungsdauer kann man aber leider nicht die wirksame Masse berechnen, die in der ganzen Anordnung während der Druckmessung in dem Ventrikel zur Geltung gekommen ist, da diese Schwingungsbeobachtung nicht nach den Grundsätzen angestellt worden ist, die ich oben (S. 519) entwickelt habe. Auch über die Gröfse der Dämpfung erhält man keinen Aufschlufs. Sie war, nach der ganzen

Anordnung zu schliefsen, nicht unbeträchtlich, jedenfalls nicht so gering, dafs sie vernachlässigt werden könnte. Wie dem auch sei, das Manometer mufs erst nach den richtigen Grundsätzen untersucht werden, ehe man ein abschliefsendes Urteil über dasselbe fällen kann. Es ist ja immerhin möglich, dafs die in der von ihm registrierten Kurve auftretenden systolischen Wellen in Wahrheit vorhanden sind.

Über die Apparate, die zu der Luftübertragung verwendet werden, ist schon das Notwendigste in der Abhandlung gesagt. Bei ihnen ist die wesentliche Masse durch den Hebel gegeben. Doch spielt auch die Luft eine gewisse Rolle dabei, wie wir sie S. 537 gesehen haben.

Nun zu den Volumregistrierapparaten, wie sie bei vielen physiologischen Versuchen gebraucht werden. Als solche dienen hauptsächlich Mareysche Kapseln und der Pistonrekorder. Zur Verbindung mit dem Raum, in dem gewisse Volumschwankungen festgestellt werden sollen, verwendet man gewöhnlich mit Flüssigkeit gefüllte Röhren. Die Massenwirkung dieser Flüssigkeit ist nach unseren Entwickelungen leicht aus der Dimension der Röhre zu berechnen. Die Dämpfungskonstante kann durch passend angelegte Versuche gleichfalls leicht bestimmt werden.

Für diese Apparate läfst sich die Massenwirkung leicht aus den Dimensionen berechnen. Diese Möglichkeit ist nun aber durch unsere Entwickelungen auch noch für ganz andere Versuche gegeben, bei denen man bisher an eine derartige Bestimmung nicht hat denken können. Zur genaueren Analyse der mechanischen Bedingungen, unter denen man das Froschherz arbeiten läfst, gehört auch die Bestimmung der Massenwirkung, gerade so, wie man die Wirkung träger Massen auf den Ablauf der Muskelzuckung kennen mufs. Ehe unsere Entwickelungen angestellt waren, hatte man keine Vorstellung von der Massenwirkung der in einem künstlichen Kreislauf, bei den isotonischen Herzversuchen etc. in Bewegung versetzten Massen. Durch unsere Untersuchungen sind hier die nötigen Anhaltspunkte gegeben, um diese Verhältnisse beurteilen zu können. Ich denke,

dafs wir bei dem Fortgang der Untersuchung dieser Erscheinungen noch darauf Rücksicht nehmen können.

Unschwer wird die Berechnung der Massenwirkung bei den Hebelapparaten wie bei den Längen- und den Spannungszeichnern, die zur Registrierung der mechanischen Zustandsänderungen in dem Muskel dienen oder bei den Sphygmographen. Bei diesen Apparaten hilft uns besonders die einfache Beziehung, die wir S. 553 für die Reduktion der Massenwirkung von sich drehenden Systemen auf den Punkt, an dem die zu registrierenden Kräfte angreifen, entwickelt haben, sie lautet: $m = \frac{\Theta}{a^2}$. Dafs natürlich auch hier noch besondere Versuche angestellt werden können, welche die Richtigkeit der theoretischen Annahmen erhärten, ist klar. Die Machschen Grundgleichungen sind ebenfalls für die speziellen Fälle zu modifizieren. Was hier zur Ergänzung meiner Ausführungen noch notwendig ist, werde ich in verschiedenen kleineren Abhandlungen in gedrängter Kürze mitteilen.

Dämpfung des elastischen, mit Flüssigkeit gefüllten Stiftmanometers.

Während wir bei der Feststellung der Massenwirkung von vollständig klar entwickelten Vorstellungen ausgehen konnten, von dem dynamischen Grundgesetz, das in seinen Entwickelungen zu der vollständigen Übereinstimmung der Ergebnisse der Experimente mit den theoretischen Voraussetzungen führte, steht uns für die Prüfung des Einflusses der Dämpfung auf den Ablauf der Schwingungen keine solche einfache Beziehung zur Verfügung. Es ist ja allgemein bekannt, dafs die Gesetze, denen die Reibungskräfte — um solche handelt es sich hier im allgemeinen — folgen, nur sehr unvollkommen entwickelt sind. Es ist unmöglich, aus allgemeinen Gesetzen die besonderen Fälle der Einwirkung der Reibungskräfte, mit denen wir es zu tun haben, abzuleiten. Bei der Untersuchung der Massenwirkung konnten wir die Gröfse der Masse aus den logischen Folgerungen des dynamischen Grundgesetzes berechnen und dann durch Ver-

suche vergleichen, ob die so ermittelten Werte mit den aus den Schwingungsbeobachtungen abgeleiteten übereinstimmten. Die Übereinstimmung der auf diesen beiden Wegen abgeleiteten Werte für die Massenwirkung gab uns eine grofse Zuversicht in die Sicherheit der Resultate. Bei der Bestimmung des Einflusses der Reibungskräfte steht uns im allgemeinen ein derartiger doppelter Gang nicht zur Verfügung. Wir müssen uns damit begnügen, die Werte für die dämpfenden Kräfte aus den Schwingungsbeobachtungen abzuleiten und können die Regeln, denen diese Kräfte folgen, einzig und allein nur aus ihnen ermitteln.

Die Reibungskräfte, die bei unseren Schwingungsversuchen wirksam sind, sind sowohl durch die Verschiebung der Gummimembran bedingt, als auch durch die Bewegung der Flüssigkeitssäulen (oder auch der Luftsäulen) in den Röhren.

Für die Feststellung der Reibung der Flüssigkeitssäulen besitzen wir nun aufser der Beobachtung der Schwingungen noch eine andere Methode. Wir können die Gröfse der Reibung aus der Untersuchung von stationären Flüssigkeitsströmungen ermitteln. Ich habe auch diesen Weg beschritten und so eine gewisse Aufklärung erhalten. Aber volle Sicherheit für die Beurteilung der aus den Schwingungsbeobachtungen abgeleiteten Werte gewährt er nicht, da ja überhaupt nur ein Teil der Reibungskräfte auf diesem Wege festgestellt werden kann, und da es fraglich erscheint, ob die Reibungsverhältnisse der stationären Strömungen dieselben sind wie diejenigen bei den wechselnden Flüssigkeitsströmungen, wie sie bei den Schwingungen der Flüssigkeitssäulen stattfinden.

Durch die Verschiebungen der Gummimembran werden dämpfende Kräfte erzeugt, die in naher Beziehung zu den Nachdehnungserscheinungen stehen. Soweit sie sich von allgemeinen Gesichtspunkten aus behandeln lassen, wird dies in der unten folgenden Diskussion versucht werden.

Wenn sich auch hier eine vollständige Klärung der Verhältnisse nicht erwarten läfst, so wird durch meine Erörterungen und Versuche doch soviel erreicht, dafs sich die Diskussion aller

dieser Fragen auf einen engeren Raum zusammendrängen läfst und an der Stelle von vagen Vorstellungen über die Gröfse der Reibungskräfte bestimmte Anschauungen treten. Für die Spezialfragen, die noch der Lösung harren, läfst sich aus den Erörterungen wohl ein Weg zu ihrer Lösung entnehmen.

Bei der Diskussion des Einflusses der Reibungskräfte auf den Ablauf der freien und der erzwungenen Schwingungen gehen wir zunächst von der Annahme aus, die in der Hauptdifferentialgleichung niedergelegt ist, dafs die dämpfende oder Reibungskraft proportional der Volumgeschwindigkeit der sich bewegenden Flüssigkeit sei. Wir wollen nun zusehen, wie weit sich diese Annahme durch die Schwingungsversuche prüfen läfst. Zunächst stellen wir die Formeln zusammen, deren wir uns hier bedienen. Der Ablauf der Bewegung wird durch das allgemeine Integral der Differentialgleichung für die Schwingungen charakterisiert. Es lautet: (s. S. 467.)

$$V = \frac{v_0}{\gamma'} e^{-\frac{K'}{2M'}t} \sin \gamma' t \quad \ldots\ldots \quad \text{(Gl. 4')}$$

Die Gröfse der dämpfenden Kraft bedingt die Schnelligkeit der Abnahme der Amplitüden der Schwingungen, und zwar ergibt sich, wie allgemein bekannt, aus der Diskussion dieses Integrals, dafs das Verhältnis je zweier aufeinanderfolgender Amplitüden konstant ist. Den natürlichen Logarithmus dieses Verhältnisses nennt man das logarithmische Dekrement. Es ist für unsere spezielle Anordnung gleich

$$D = \frac{K' \cdot T}{4M'} \quad \ldots\ldots \quad \text{(Gl. 6')}$$

d. h. konstant und unabhängig von der Gröfse der Amplitüden. Zu manchen Zwecken ermittelt man auch noch eine andere Gröfse, den sog. Extinctionskoeffizienten. Man setzt ihn gleich $\frac{K'}{2M'} = \varepsilon$. Er ist charakteristisch für die Schnelligkeit, mit der die Schwingungen abnimmt und für die Gröfse der Reibungskraft bei wechselnden Massen M'.

Die Unabhängigkeit des logarithmischen Dekrements von der Amplitüde.

Um einen Aufschlufs über die Übereinstimmung der von uns aufgestellten Formeln mit den Ergebnissen des Experimentes zu erhalten, ist das Nächstliegende, zu untersuchen, ob die durch die Formel 6' geforderte Unabhängigkeit des logarithmischen Dekrementes von der Gröfse der Amplitüde vorhanden ist. Ich stelle die aus den Beobachtungen abgeleiteten Werte in der folgenden Tabelle zusammen, wobei ich bemerke, dafs ich, um weitläufige Rechnungen zu vermeiden, nicht die Gröfse des logarithmischen Dekrements angegeben habe, sondern immer das Verhältnis von je zwei aufeinanderfolgenden Schwingungsweiten, das natürlich ebenso wie der Logarithmus dieses Verhältnisses konstant bleiben mufs, wenn unsere Gleichungen gelten. Auch habe ich keine Rücksicht darauf genommen, dafs die Ordinaten der registrierten Kurve den Volumverschiebungen nicht streng proportional sind.

Die Zahlen in der ersten Kolumne der Tabelle bezeichnen die Schwingungsbahnen, deren Verhältnis berechnet worden ist. So bedeutet z. B. 1—2 das Verhältnis der Bahn 1—1' zu der Bahn 2—2' oder auch der Weiten 1'—2 zu 2'—3 (s. Fig. 4).

Tabelle 18.

Unabhängigkeit des logarithmischen Dekrements von der Amplitüde.

	9. Juni						12. Juni			23. Juni	25. Juni	22. Juli		7. August		
	I,1	II,1	I,1	I,2	II,2	I,4	I,3	II,3	I,4	I,5	II,4	II,9	II,14	II,8	II,9	II,10
1—2	1,56	1,80	1,59	1,59							2,52	2,06	3,10	1,75	1,80	1,95
2—3	1,59	1,85	1,66	1,61						1,48	2,25	2,07	3,10	1,71	1,87	1,88
3—4	1,87	1,76	1,59	1,67			1,81	1,70	1,71		2,62	2,04	3,09	1,74	1,86	1,95
4—5	1,69	1,65	1,81	1,67	1,65	1,72				1,50		2,19		1,81	1,84	1,75
5—6	1,78	1,82	1,63	1,65								1,98			1,73	1,84
6—7	1,94	1,83	1,67	1,73			1,75	1,78	1,78			2,09				
7—8	1,46		1,50	1,50												
8—9	1,83		1,75	1,71	1,50	1,50										

Aus der Tabelle läfst sich eine eindeutige Abhängigkeit des logarithmischen Dekrementes bezw. des Dämpfungsverhältnisses von der Amplitüde nicht erkennen. Bei einer Abnahme der

Gröfse der Amplitüden (z. B. bei dem ersten Versuch) um das 100fache ist eine solche Abhängigkeit nicht festzustellen. Die verhältnismäfsig kleinen Abweichungen, welche die einzelnen Versuche aufweisen, sind sicher durch Messungsfehler bedingt, oder auch durch Unregelmäfsigkeiten, die bei der Aufnahme der Schwingungen unterlaufen sind, so insbesondere durch die bei diesen Aufnahmen noch nicht ganz beseitigten Erschütterungen des Apparates, die hauptsächlich bei den gröfseren Geschwindigkeiten der Trommelbewegung eintraten.[1]) Man wird im allgemeinen auch aus der Tabelle erkennen können, dafs in den Fällen, in denen eine scheinbare Änderung des logarithmischen Dekrementes vorhanden ist, diese Veränderung durch eine gegensinnige Änderung bei dem nächstfolgenden Dämpfungsverhältnis kompensiert wird. Auch mufs man beachten, dafs alle diese Werte nicht weiter kontrolliert sind, sondern so angeschrieben sind, wie sie die erste Ausrechnung ergeben hat.

Man darf also den Satz aussprechen, dafs das logarithmische Dekrement der Schwingungen auch unter den verschiedensten Reibungsverhältnissen, die hier wirksam waren, konstant bleibt, dafs also die wichtigste Forderung, die sich aus unseren Entwickelungen ergeben hat, bei unseren Versuchen erfüllt ist. Es ist danach mit Sicherheit die Gröfse K' unserer Differentialgleichung in dem einzelnen Schwingungsversuch als konstant anzusehen. Die geringen Abweichungen, die allenfalls bestehen sollten, fallen in die Gröfse der Beobachtungsfehler.

Der Einflufs der Gröfse der Dämpfung auf die Schwingungsdauer.

Wir haben bei allen unseren bisherigen Erörterungen über die Länge der Schwingungsdauer ganz den Einflufs der Dämpfung vernachlässigt. Eine nähere Betrachtung der Formel, die der Ausdruck für die Gröfse dieses Einflusses ist, läfst erkennen, dafs erst bei den stärkeren Dämpfungen dieser Einflufs zur

---

1) Sie sind inzwischen beseitigt worden.

Geltung gelangt. Die Formel, die wir schon oben angeschrieben haben, lautet:

$$T = \frac{4\pi M'}{\sqrt{4M'E' - K'^2}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{(Gl. 5')}$$

Die Gröfse von K' beläuft sich bei einem Schwingungsversuch, bei dem Flüssigkeiten in unseren einfachen, nicht besonders verengten Röhren von 2,8 mm Weite aufwärts schwingen, nicht über 15 grofse Einheiten. Ihr Einflufs auf die Schwingungsdauer berechnet sich im höchsten Fall zu 1 %. Anders steht es dagegen, wenn wir besondere Hindernisse für die Strömung anbringen. Derartige Widerstände anzubringen, könnte sich vielleicht in manchen Fällen empfehlen, wenn man die Bewegung der schwingenden Massen besonders dämpfen wollte. Man sieht, dafs bei Steigerung der Dämpfung ihr Einflufs auf die Schwingungsdauer sehr rasch wächst, und dafs dann bei einer gewissen Dämpfung der Übergang des Manometers in seine neue Gleichgewichtslage nicht mehr in Schwingungen erfolgt, sondern aperiodisch. Ich habe nun aus diesen praktischen Gründen den Einflufs derartiger besonderer Widerstände auf die Schwingungsdauer des Manometers experimentell untersucht. Aber auch in theoretischer Hinsicht sind diese Versuche, wie wir sofort sehen werden, von besonderem Interesse.

Eine schwierige Frage erhob sich jedoch hier. Wenn wir an irgend einer Stelle der schwingenden Flüssigkeitssäule Stromwiderstände anbringen wollen, so können wir dies im allgemeinen nur durch Verengerung des Strombettes ausführen. Diese Verengerung des Stromquerschnittes ist aber nach unseren obigen Darlegungen stets mit einer Vergröfserung der wirksamen Masse verbunden. Würden wir dies zulassen, so wäre unsere Bestimmung der wirksamen Masse hinfällig, und wir könnten bei den stärkeren Dämpfungen, bei denen die Bewegung aperiodisch erfolgt, die Massen durch Schwingungsbeobachtungen überhaupt nicht mehr bestimmen. Wir können aber diese Vergröfserung der wirksamen Masse auf ein Minimum herabsinken lassen, wenn wir die Länge der verengten Säulen nur sehr klein machen,

die Verengerung des Querschnittes auf eine kurze Strecke, sozusagen auf einen Punkt, beschränken.

Ich wendete als eine solche Dämpfungsvorrichtung zunächst provisorisch einen in die Flüssigkeitssäule eingeschalteten Hahn an, konstruierte aber dann einen besonderen Apparat, welcher der soeben ausgesprochenen Forderung, die wirksame Masse nicht zu verändern, noch besser genügt. Ich will diese Vorrichtung, die ich nebenan abbilde, als D ä m p f u n g s s c h r a u b e (Fig. 17) bezeichnen. Sie besitzt vor dem Hahn, abgesehen davon, dafs sie eine Verengerung an einer punktförmigen Stelle hervorbringt, noch die Vorteile, dafs der Grad der Verengerung des Stromquerschnittes auf sehr einfache Weise an dem eingeteilten Kopf der Schraube abgelesen werden kann, und dafs die Verengerung viel gleichmäfsiger erfolgt als bei dem Hahn. Sehr wichtig ist auch, dafs die Dämpfungsschraube nicht eingefettet zu werden braucht. Kleine Fettpartikelchen, die sich in die Öffnung des Hahns schieben, können eine genaue Festlegung der Dämpfung vollständig vereiteln. Bei der von mir angewendeten Schraube war der Kopf in 10 Teile eingeteilt. 5 Schraubengänge öffneten den Querschnitt der Röhre an dieser Stelle, der 3 mm weit war, vollständig. Ich bezeichne nun im folgenden den Grad der Öffnung des Querschnittes so, dafs ich den Verschlufs, d. h. die Stellung der Schraube, bei der sie den Querschnitt am stärksten verengt — ein vollständiger Verschlufs ist bei meiner Schraube nicht erreicht worden — 0 nenne. Eine Hebung der Schraube um je $^1/_{10}$ Umgang erhält die Bezeichnung 1, 2, 3, . . ., eine solche um 1, 2, 3, 4 oder 5 volle Gänge die Bezeichnungen 10, 40, 30, 40 und 50. Dies zur Orientierung über die Angaben der folgenden Tabellen.

Fig. 17.

Zunächst läfst sich zeigen, dafs die Dämpfung der Flüssigkeitsschwingungen an einer bestimmten Stelle keine irgendwie wesentliche Veränderung der wirksamen Masse hervorbringt. Die Veränderung der wirksamen Masse würde sich in einer Veränderung der Schwingungsdauer offenbaren. Die Schwingungsdauer wird sogar durch Dämpfungen, die bis zu einem fast voll-

ständigen Verschlufs gehen, nur wenig verändert, so dafs ich bei den ersten Versuchen, bei denen ich den Hahn anwendete, und nicht genau den Grad der Dämpfung einhalten bezw. feststellen konnte, eine einsinnige Abhängigkeit der Schwingungsdauer von dem Grad der Dämpfung überhaupt nicht beobachten konnte. Ich gebe hier die Zahlen, die ich bei diesen Versuchen erhielt, wieder. Sie sind nach steigenden Dämpfungen bezw. Verschlüssen des Hahns geordnet. Versuch 4: 4. VII. 1902. Schwingungsdauer: 9,58, 9,72, 9,64, 9,66, 9,70, 9,69, 9,56. Die Dämpfungen beginnen mit der vollen Öffnung des Hahns und schreiten bis zu dem fast vollständigen Verschlufs weiter. Ganz ähnlich bei dem Versuch vom 10. VII. Schwingungsdauer: 11,36, 11,37, 11,49, 11,77, 11,77 oder bei den Schwingungen bei den niederen Drucken: 11,95, 11,77, 11,77, 11,87, 11,87. Schon aus diesen Versuchen geht mit Sicherheit hervor, dafs eine wesentliche Vergröfserung der wirksamen Masse durch die Verengerung des Stromquerschnittes auf der kurzen Strecke nicht zustande kommt.

Dafs aber die Wirkung der Vergröfserung der Dämpfung auf die Schwingungsdauer, die man nach der Formel 5′ erwarten sollte, nicht zu beobachten war, liegt wohl hauptsächlich an den Ungenauigkeiten der Hahndämpfung. Es konnte bei diesen Versuchen eine bestimmte Hahnstellung erst nach längerem Hin- und Herprobieren erreicht werden, und es war möglich, dafs bei diesen Drehungen des Hahns Fettpartikelchen in die Hahnöffnung gelangten oder auch wieder aus ihr entfernt wurden, was natürlich bei den engen Öffnungen den Grad der Dämpfung stark beeinflussen mufste.

Wie dem auch sein mag, die durch die Dämpfungsschraube hervorgebrachten Dämpfungen zeigen derartige Unregelmäfsigkeiten nicht. Es mufs bei der Beurteilung der Brauchbarkeit einer Dämpfungsvorrichtung vor allem in Betracht gezogen werden, ob einer bestimmten Stellung der Vorrichtung immer dieselbe Gröfse der Dämpfung entspricht. Wird bei einem Blutdruckversuch, bei dem man nicht immer mit derselben Dämpfung arbeiten will, im Verlaufe des Versuchs eine Änderung der

Dämpfung nötig, so erscheint es, wenn man die Dämpfung zu einer Korrektur der erhaltenen Kurven verwenden will, durchaus notwendig, dafs der Grad der Dämpfung an dem Instrument abgelesen werden kann. Ist der Grad der Dämpfung bei einer bestimmten Stellung unserer Schraube immer der gleiche, so kann man die Dämpfungswerte der verschiedenen Stellungen der Schraube ein für allemal bestimmen und bei den Korrekturen verwerten. Dies scheint nun bei der von mir konstruierten Dämpfungsschraube tatsächlich der Fall zu sein. Ich kann über zwei Versuche berichten, die zeigen, dafs einer bestimmten Stellung der Dämpfungsschraube auch eine bestimmte Dämpfung entspricht. Bei dem einen Versuch: 22. VII. öffnete ich den Querschnitt durch Heben der Schraube und bestimmte für die jeweiligen Stellungen das logarithmische Dekrement und die Gröfse des Dämpfungsfaktors, dann verschlofs ich die Öffnung wieder durch Zudrehen der Schraube und stellte den Betrag der Dämpfung für dieselbe Stellung ebenfalls wieder fest. Es zeigt sich nun, wie aus der folgenden Zusammenstellung hervorgeht, dafs bei der gleichen Stellung der Schraube während des Aufdrehens und während des Zuschraubens der Schraube dieselbe Dämpfung erzielt wurde, dafs also die Wirkung irgend eines toten Ganges der Schraube oder einer anderen Unregelmäfsigkeit nicht zu verspüren war.

Tabelle 14.
Versuch 22. VII. Dämpfungsschraube.

Dämpfungen Schrauben-stellungen	T	Dekrement	K'	M'
No. 1. D. 2.	9,28	1,040	33,7	750
» 2. » 3.	9,15	0,762	25,0	763
» 3. » 4.	9,06	0,593	19,7	763
» 4. » 6.	8,98	0,458	15,5	760
» 5. » 10.	—	0,377	—	—
» 6. » 20.	8,88	0,361	12,2	752
» 7. » 10.	8,95	0,371	12,5	762
» 8. » 4.	9,08	0,566	18,5	771
» 9. » 3.	—	0,773	—	—
» 10. » 2.	9,36	1,089	35,0	750

Ja, nach einem länger dauernden Tierversuch 1. VIII. 1902, bei dem fortwährend mit der Stellung der Dämpfungsschraube gewechselt worden war, war der einer bestimmten Stellung der Schraube entsprechende Betrag der Dämpfung derselbe wie vor dem Versuch.

Tabelle 15.

1. VIII. 02. Schwingungsversuche vor (No. 6, 7 und 8) und nach dem Hauptversuch (No. 16, 18).

	T	Dekrement	K'
No. 6. D. 20.	9,23	0,372	17,4
» 7. » 6.	9,35	0,558	25,7
» 8. » 4.	9,46	0,763	34,8
» 16. » 10.	9,25	0,468	21,8
» 18. » 3.	9,75	0,786	34,8

Ob allerdings bei einem sehr lange dauernden Tierversuch, bei dem gröfsere Mengen Bluts in die Manometerröhren gelangen, die Dämpfung unverändert bleibt, erscheint unwahrscheinlich. Hier müfste man einem Eindringen von Flüssigkeit in die feine Öffnung der Dämpfungsvorrichtung eventuell vorbeugen, indem man diese Vorrichtung von der Blutbahn durch Einschalten einer sehr dehnbaren (Kondommembran) vorbeugt.

Um dies zu entscheiden, sind noch weitere Erfahrungen nötig. Jedenfalls mufs man sich am Ende eines Versuchs überzeugen, dafs die Dämpfung unverändert geblieben ist.

Es zeigt sich nun bei den genaueren Versuchen eine eindeutige Abhängigkeit der Schwingungsdauer von der Gröfse der Dämpfung in dem Sinne wie die Formel 5′ verlangt. Die Schwingungsdauer nimmt mit wachsender Dämpfung zu. Dafs die Gröfse der Zunahme auch quantitativ nach unserer Formel erfolgt, erscheint als ein weiterer Beweis dafür, dafs die grundlegenden Annahmen, die zu der Entwickelung der Formel gedient haben, richtig sind. Um dies zu zeigen, habe ich in der Tabelle 14 nach der Formel 5′ die Werte von M' für Versuch vom 22. VII. berechnet. Aufserdem teile ich noch zwei hierher gehörende Versuche vom 7. VIII. 1902 mit. (s. Tab. 16.)

Tabelle 16.

	T	Dekrement	M'	K'
No. 2. D. 2.	8,500	1,0600	997	47,50
» 5. » 20.	7,970	0,3572	964	17,04

Der nach dieser Formel berechnete Wert von

$$M' = \frac{4E'}{\left(\frac{4\pi}{T}\right)^2 + \left(\frac{K'}{M'}\right)^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{(Gl. 5')}$$

mufs, wenn die Experimente den aus der Formel folgenden Einflufs der Dämpfung auf die Schwingungsdauer richtig wiedergeben, konstant bleiben. Dies ist in der Tat der Fall. Die kleinen Abweichungen, welche die Werte der Tabelle von der Konstanz zeigen, sind belanglos gegenüber den Unterschieden, welche die aus der einfachen Schwingungsformel (s. S. 472) ermittelten Werte der Massen ergeben würden. Während die durch die genaue Formel berechneten Werte nur einen Unterschied von 2,8% im Versuch vom 22. VII. und 3,3% im Versuch vom 7. VIII. zeigen, würde der Unterschied der nach der einfachen Formel berechneten Massen gut 10% und 11% betragen. Die genauere Formel gibt demnach die Vorgänge nach dieser Richtung vollständig wieder. Man würde ganz besondere verwickelte Annahmen machen müssen, wenn man in diesen Fällen die Zunahme der Schwingungsdauer durch eine Zunahme der Massenwirkung erklären wollte. Aus den Gesetzen für die Massenwirkung, die wir in den früheren Kapiteln aufgestellt haben, würde sich die Zunahme der Schwingungsdauer überhaupt nicht erklären lassen. Man wird daher aus diesen Versuchen die doppelte Folgerung, die den einfachsten Erklärungsversuch darstellt, ziehen können, dafs bei der Änderung der Dämpfung durch eine Dämpfungsschraube die Massenwirkung konstant bleibt, und dafs die Annahme eines konstanten Dämpfungsfaktors ebenfalls bestätigt wird.

Der Dämpfungskoeffizient K' ist von der Schwingungsdauer abhängig.

Nach diesen Ergebnissen kann es keinem Zweifel unterliegen, dafs die aus der Differentialgleichung entwickelten Formeln die Bewegungen der Membran richtig wiedergeben, dafs also auch die Voraussetzungen, die der Differentialgleichung zu Grunde liegen, zutreffen, wenigstens so lange es sich um eine bestimmte Schwingungsart, oder sagen wir um eine Schwingung von bestimmter Schwingungsdauer, handelt. Dies Ergebnis wollen wir auch zunächst festhalten und erst später einer erneuten Diskussion unterziehen.

Als ich aber die unter verschiedenen Bedingungen erhaltenen Resultate miteinander verglich, kam ich zu der Einsicht, dafs die Verhältnisse doch verwickelter lagen, als man dies vielleicht anfangs vermuten konnte.

Ich will gleich hinzufügen, dafs es mir noch nicht gelungen ist, das Chaos der Erscheinungen vollständig zu entwirren. Die nachfolgenden Erörterungen können im allgemeinen nur den Zweck haben, zu neuen Versuchen anzuregen und die Lücken zu zeigen, welche noch offen stehen.

Schon bei den ersten Versuchen überraschte eine gewisse Konstanz des logarithmischen Dekrements unter den verschiedensten Versuchsbedingungen. Z. B. hatte die Länge der Flüssigkeitssäule bei einer Reihe von Versuchen keinen Einflufs auf die Gröfse des Dekrements, wie die Übersicht über den Versuch vom 9. VI. 02 zeigt.

Tabelle 17.

Versuch	T	Dekr.	K'
No. 1.	$T = 7{,}78$,	Dekr. $= 0{,}267$,	$K' = 4{,}28$
» » 2.	$T = 5{,}81$,	Dekr. $= 0{,}245$,	$K' = 2{,}77$
» » 4.	$T = 3{,}54$,	Dekr. $= 0{,}236$,	$K' = 1{,}64$.

Vergleicht man die verschiedenen Formeln, nach denen die wirksame Masse proportional der Wurzel aus der Länge der schwingenden Säule, der Dämpfungskoeffizient hinwiederum proportional der Masse ist, mit der jedenfalls wahrscheinlichen Annahme, dafs die Reibung der Flüssigkeitssäulen proportional ihrer Länge ist, so kann man schon hieraus sehen, dafs die Annahme, dafs die

Reibungsverhältnisse der Flüssigkeit hier in erster Linie die Gröfse unseres Dämpfungskoeffizienten K' bedingt habe, auf grofse Schwierigkeiten stöfst.

Diese Beobachtung der Konstanz des Dekrements lenkte meine Aufmerksamkeit auf eine Abhandlung von Streintz,[1]) der bei dem Studium der Nachdehnungserscheinungen, die an elastischen torquierten Drähten auftreten, Ähnliches beobachtet hatte. Auf die Bedeutung der Nachdehnung für die Erklärung der verwickelten Erscheinungen, die bei unseren Versuchen auftraten, werde ich noch näher hinweisen. Hier möchte ich aber schon betonen, dafs die Konstanz des Dekrements bei meinen Versuchen nicht so weit geht, wie bei den Versuchen von Streintz. Aus diesen hat Boltzmann sogar — natürlich nur für die von Streintz untersuchten Materialien — auf eine Unabhängigkeit des Dekrements, das durch die Nachdehnung bedingt ist, von allen Versuchsbedingungen geschlossen. Das Dekrement hinge danach allein von dem Material ab. Dafs das Dekrement bei unseren Versuchen nicht als absolut konstant anzusehen ist, zeigen z. B. die zwei Schwingungsversuche vom 25. VI., die mit derselben Gummimembran, verbunden mit derselben Flüssigkeitssäule, ausgeführt wurden. In den beiden Versuchen bewegte sich die Membran um verschiedene Gleichgewichtslagen und besafs, wie dies ähnlich bei vielen oben mitgeteilten Versuchen der Fall war, in diesen verschiedenen Druckbezirken verschiedene Elastizitätskoeffizienten E', einmal 5720, im zweiten Fall 1523. Trotzdem die Reibungsverhältnisse der Flüssigkeit in der Röhre in beiden Versuchen die gleichen sein mufsten, hatte das Dekrement die verschiedenen Werte: 0,342 und 0,621. Der Boltzmann'sche Satz gilt also für unsere Schwingungsversuche nicht in aller Strenge. Doch ist seine absolute Gültigkeit immerhin denkbar, sie könnte durch Versuche, bei denen die Reibung der Flüssigkeitssäulen überhaupt keine Rolle spielt, streng bewiesen werden. Solche Versuche habe ich bis jetzt noch nicht angestellt.

1) Sitzungsber. d. Wiener Akad., März 1874, und Poggendorffs Annalen Bd. 153 S. 387.

Diese soeben gegebene Darstellung läfst schon die Schwierigkeiten ahnen, die einem Versuch, die Dämpfung im wesentlichen auf die Reibung der Flüssigkeitssäulen zurückzuführen, im Wege stehen. Wir werden hierauf zurückkommen.

Ein Überblick auf die Resultate unserer Versuche läfst aber eine Regel mit einer gewissen Sicherheit ausschälen: Während nach unseren obigen Darlegungen (s. S. 583) der Reibungskoeffizient K' innerhalb ein und desselben Schwingungsversuchs als konstant anzusehen ist, hängt er unter verschiedenen Versuchsbedingungen von der Schwingungsdauer ab. Als Beispiele führe ich folgende Versuche an:

Tabelle 18.

1. Versuche mit einer 2,8 mm weiten Röhre. Die Flüssigkeitssäule war bei allen Versuchen ca. 65 cm lang.

Datum		L	K'	T
23. VI.	7. II.	64,6	14,4	8,11
	I.	64,6	10,9	16,7
25. VI.	II.	64,4	14,3	8,2
	I.	64,4	11,3	15,5

Ordnet man die Gröfse von K' nach den Werten von T, so erhält man folgende Reihe:

T:	8,11	8,19	15,5	16,7
K':	14,4	14,3	11,3	10,9

2. Versuche mit einer 3,8 mm weiten Röhre.

Datum	L	K'	T
9. VI.	31,9	4,3	7,8
	31,9	8,0	4,1
11. VI.	31,7	14,4	2,5
	31,7	5,1	8,1
	31,7	6,1	5,2

Die Zahlen nach T geordnet erhält man:

T:	2,5	4,1	5,2	7,8	8,1
K':	14,4	8,0	6,1	4,3	5,1

Auch aus der Konstanz des logarithmischen Dekrements würde eine Abhängigkeit des Dämpfungskoeffizienten von der Schwingungsdauer folgen.

Ist diese Abhängigkeit durch die Reibung der Flüssigkeitssäulen oder durch die Nachdehnung der Gummimembran bedingt?

Um nun zu untersuchen, wodurch diese auffällige Erscheinung bedingt ist, erscheint es nötig, einzelne Momente, welche diese Erscheinung veranlassen könnten, getrennt zu untersuchen. Man wird die Ursachen für die Abnahme der Schwingungamplitude einmal in der Reibung der Flüssigkeitssäule in der Röhre, dann in der inneren Reibung der Gummimembran oder den Nachdehnungserscheinungen des Gummis zu suchen haben. Die Wirkung beider wird sich wohl nach der Beziehung $K' = K'_1 + K'_2$ berechnen lassen, wobei K'_1 den Reibungskoeffizienten der Flüssigkeit, K'_2 denjenigen der Gummimembran oder den die Nachdehnung herrorrufenden bedeutet, denn die gesamte dämpfende Kraft ist gleich $K'_1 \frac{dV}{dt} + K'_2 \frac{dV}{dt}$.

Wir betrachten zunächst den Einfluſs der Flüssigkeitsreibung auf die Dämpfung der Schwingungen. Ich habe, wie ich schon oben erwähnt habe, Versuche angestellt, bei denen ich die Druckunterschiede feststellte, die zur Herstellung einer bestimmten stationären Stromstärke, eines bestimmten $\frac{dV}{dt}$, erforderlich sind. Ich gebe zuerst die Resultate der mit der Röhre 4 (2,9 mm weit) angestellten Durchströmungsversuche. Der in der Tabelle für die verschiedenen Drücke angegebene Koeffizient K' wurde so berechnet, wie es seiner Definition entspricht, nämlich daſs der jeweilige Druck, der die betreffende Stromstärke erzeugte, ausgerechnet in Dynen pro qcm, durch die Stromstärke in ccm/Sek. dividiert wurde. Die ausgeflossene Flüssigkeitsmenge wurde in einem Meſszylinder aufgefangen, die Zeit mit der Uhr bestimmt.

Tabelle 19.

Ausfluſsversuche angestellt mit der Röhre 4 (2,9 mm weit).

Drücke in cm Wasser	5,6	9,5	19,2	35,9	38,7
Drücke in Megadynen pro qcm	5,49	9,3	18,8	35,2	38,0
Stromstärke	1,23	2,30	4,05	5,78	6,11
K'	4,46	4,06	4,63	6,08	6,22.

Wir sehen zunächst, daſs der Koeffizient K' nicht konstant ist, sondern von dem Druck abhängt, und zwar mit wachsendem Druck zunimmt. Diese Beziehung gilt, wie bekannt ist, ganz allgemein für Röhren, die weiter sind als die Röhren, in denen die Flüssigkeitsströmung dem Poiseuille'schen Gesetz folgt. Bei derartigen Röhren ist der Druck nicht der einfachen Potenz der Stromstärke, sondern eher dem Quadrat der Stromstärke proportional.

Ganz besonders interessiert uns aber die Tatsache, daſs der durch die Ausströmungsversuche bestimmte Koeffizient K' immer beträchtlich kleiner ist als der durch die Schwingungsversuche ermittelte. So hatte der Koeffizient bei Schwingungsversuchen, die mit Flüssigkeitssäulen in derselben Röhre angestellt wurden, die folgenden Werte:

Tabelle 20.

	L	K'	
23. VI.	64,6	14,4	K' durch die Ausfluſsversuche bestimmt zu: 4,06—6,22.
	64,6	10,9	
25. VI.	64,4	14,3	
	64.4	11,3	
7. VIII.	69,2	15,6	

Hierbei muſs man bedenken, daſs die Flüssigkeitssäule nicht einmal die ganze Röhre, die 70 cm lang war, erfüllte, sondern die in der Spalte der Tabelle angegebene Länge besaſs.

Der auf dem Wege des stationären Strömungsversuches bestimmmte Koeffizient ist also immer beträchtlich kleiner als der durch die Schwingungsversuche ermittelte, und zwar beträgt er nur etwa die Hälfte bis ein Drittel des anderen.

Man könnte zunächst daran denken, daſs die Konstanten deshalb bei den verschiedenen Versuchsarten verschieden gefunden wurden, weil in beiden Fällen verschiedene Stromstärken zur Geltung gekommen wären. Wir haben ja soeben gesehen, daſs bei den stationären Strömungen der Koeffizient K' mit steigender Stromgeschwindigkeit oder mit steigendem Druck wächst. Man muſs also zusehen, ob die Stromstärken bei den

Schwingungsversuchen gröfser waren als bei den Ausströmungsversuchen.

Bei den Schwingungsversuchen wechselt die Stromstärke. Man wird sich damit begnügen können, zwei charakteristische Werte der Stromstärken, die mittlere und die maximale, annähernd zu bestimmen. Aus dem Ablauf der Kurven kann die Stromstärke wegen der geringen Trommelgeschwindigkeiten nur ungenau ermittelt werden. Ich mache zwei vereinfachende Voraussetzungen, um eine bequeme Methode, die Stromstärken zu berechnen, zu erhalten. Zunächst gehe ich von der Annahme aus, dafs die Differentialgleichung, die wir unseren Betrachtungen zu Grunde gelegt haben, die Bewegungen vollständig richtig beschreibt. Ist dies der Fall, so kann man aus der Amplitude nach der Formel des allgemeinen Integrals dieser Gleichung sowohl die mittlere Stromstärke während einer Schwingung als auch die maximale Geschwindigkeit berechnen. Dies würde jedoch immer noch sehr umständliche Rechnungen erfordern. Ich glaube, dafs man zu einer genügend genauen Vorstellung über die Gröfse der Stromstärke, die in einem bestimmten Versuche geherrscht hat, gelangen kann, wenn man der Berechnung dieser Geschwindigkeiten die einfachere Formel für die harmonische ungedämpfte Schwingung zu Grunde legt. Aus dieser Formel, die lautet: $V = V_0 \cdot \cos \alpha t$, berechnet sich die maximale Geschwindigkeit, die bei einem Schwingungsbogen von $S = 2\,V_0$ erreicht worden ist, zu: $\frac{S \cdot \pi}{T}$ und die mittlere Geschwindigkeit in demselben Schwingungsbogen zu: $\frac{2\,S}{T}$. Ich ermittelte so für einige der Versuche, die ich oben zitiert habe, folgende maximale und mittlere Geschwindigkeiten während des ersten Schwingungsbogens: 1 — 1' nach meiner Bezeichnung (s. S. 473).

Versuche vom 23. VII.	maximale Geschw.	mittlere Geschw.
I.	0,89 ccm/Sek.	0,56 ccm/Sek.
II.	1,83 ccm/Sek.	1.17 ccm/Sek.

Die Stromstärken, die nach dieser Berechnung bei dem ersten Schwingungsbogen geherrscht haben, bleiben also noch hinter den Werten, die durch die niedrigsten von mir überhaupt untersuchten Ausströmungsdrücke erzeugt worden sind, zurück. In steigendem Maſse gilt dies für die späteren Schwingungen eines Schwingungsversuches, deren Amplituden ja stetig abnehmen. Die Ursache für die Verschiedenheit der auf den beiden Wegen ermittelten Koeffizienten K' kann also nicht darin gesucht werden, daſs in beiden Fällen verschiedene Stromstärken wirksam gewesen wären. (Vgl. Tab. 19.)

Der Unterschied ist bei allen Versuchen zu konstatieren. Auch bei den Schwingungsversuchen, bei denen eine stärkere Dämpfung durch die Dämpfungsschraube erzeugt worden war, erwies sich der Koeffizient höher als bei den stationären Strömungen. Die folgende Tabelle gibt die Belege für diese Behauptung.

Zu den Versuchen wurde ein Röhrensystem benutzt, wie es bei Blutdruckversuchen verwendet wird.

Tabelle 21.

Werte von K' für verschiedene Dämpfungen mit der Dämpfungsschraube. Am Kopf jeder Spalte sind die Ausströmungsdrücke angegeben. Die letzte Spalte enthält die aus Schwingungsversuchen ermittelten Werte von K'.

Dämpfungsgrade	6,65 6,52	9,90 9,70	13,95 13,68	16,45 16,14	17,50 17,16	29,3 28,8	40,7 39,9	Schwingungen
D 2.	—	31,1	38,5	43,1	40,8	46,3	51,3	33,7
» 4.	13,9	13,7	17,3	18,5	17,5	—	25,5	23,0
» 6.	9,0	9,5	11,7	13,0	12,4	15,9	18,1	21,9
» 8.	—	—	—	10,6	—	—	—	—
» 10.	6,4	—	8,7	9,6	9,8	11,7	13,5	17,0
» 20.	—	—	—	8,4	—	—	—	—
» 30.	—	—	—	8,2	—	—	—	—
» 40.	5,6	5,9	7,7	8,2	8,3	10,8	11,6	—

Für die Dämpfung O, bei der die Bewegung aperiodisch erfolgte, fand ich eine gute Übereinstimmung der aus der annähernd logarithmischen Kurve und aus den Ausströmungsversuchen abgeleiteten Werte. — Bei dem genaueren Vergleich der

durch die beiden Versuchsarten erhaltenen Werte ergibt sich aber eine wichtige Tatsache. Die bei den Schwingungsversuchen mit den niederen Dämpfungen: $D6-40$ erhaltenen Werte der Koeffizienten weichen so weit von den Werten, welche die stationären Strömungen ergeben, ab, dafs sie unter den Zahlen, die ich in der Tabelle 21 zusammengestellt habe, überhaupt nicht auftreten. Es wäre zu vermuten, dafs erst bei viel höheren Ausströmungsdrücken das stationäre K', wie ich mich kurz ausdrücken will, dem Schwingungs-K' gleich geworden wäre.

Die bei den starken Dämpfungen $D2$ und $D4$ erhaltenen Koeffizienten finden sich aber bereits unter den Zahlen der Tabelle. Ja das Schwingungs-K' bei Dämpfung $D2$ ist schon kleiner als das bei einem Druck von nur 14 ccm Wasser erhaltene stationäre K'. Mit anderen Worten: die auf beiden experimentellen Wegen erhaltenen Werte nähern sich einander für die höheren Flüssigkeitsreibungen. Dieser Tatsache scheint mir für die folgenden theoretischen Erörterungen eine wichtige Rolle zuzukommen.

Wenn man versucht, diese Tatsachen unter allgemeine theoretische Gesichtspunkte zu bringen, so wird man vor allen Dingen die Frage zu beantworten haben, ob nach den bis jetzt bekannten Erscheinungen der Flüssigkeitsreibung und den aus ihnen abgeleiteten theoretischen Anschauungen die Ergebnisse meiner Experimente zu erwarten gewesen wären.

Wir haben gefunden, dafs der Reibungskoeffizient während einer bestimmten Schwingungsform, d. h. einer solchen von bestimmter Schwingungsdauer, so wie bei der Aufstellung der Differentialgleichung vorausgesetzt wurde, als konstant anzunehmen ist, dafs dagegen die Gröfse des Dämpfungskoeffizienten nach den oben gegebenen Belegen (S. 592) von der Länge der Schwingungsdauer abhängt. Wie mir scheint, kann diese letztere Tatsache nicht aus den Anschauungen, die man bisher über die Natur der Flüssigkeitsreibung gehegt hat, abgeleitet werden. Bis jetzt hat man immer angenommen, dafs bei kleinen Änderungen der Stromstärke, und solche liegen bei unseren Versuchen vor, die nichtstationären Flüssigkeitsströmungen denselben Gesetzen

folgen wie die stationären. Man würde also bei der Untersuchung der beiden Arten von Flüssigkeitsströmungen zu denselben Koeffizienten gelangen. Unser K' würde demnach nur von den Dimensionen der Röhre und der Stromstärke abhängen. Nur insoweit durch die Veränderung der Schwingungsdauer bei den Schwingungen einer Veränderung der Stromstärke bedingt ist, könnte die Schwingungsdauer einen Einfluſs auf die Gröſse unseres Koeffizienten besitzen. Ob allerdings aus den allgemeinen Gleichungen für die Strömung zäher Flüssigkeiten solche Eigentümlichkeiten, wie wir sie hier diskutiert haben, nicht abgeleitet werden könnten, vermag ich jetzt noch nicht zu sagen. Ich habe versucht, diese Gleichungen: $\mu\left(\frac{\partial \mathfrak{v}}{\partial t} + (\mathfrak{v}\,\nabla)\,\mathfrak{v}\right) = -\nabla p + k\,\nabla^2\,\mathfrak{v}$ (s. Föppl, Technische Dynamik S. 431) zur Ableitung der Bewegungsgleichungen für schwingende Flüssigkeitssäulen unter bestimmten Voraussetzungen zu benutzen, bin aber dabei auf so verwickelte Differentialgleichungen gestoſsen, daſs mir die Lust zur weiteren Analyse in dieser Richtung vorläufig genommen worden ist. Die Ausdehnung der experimentellen Untersuchung auf diesem Gebiet erscheint mir weit lukrativer zu sein. Sollte es sich bei einer derartigen Untersuchung herausstellen, daſs wirklich die beschriebenen Erscheinungen durch die Flüssigkeitsreibung bedingt sein können, so würde ein sehr wichtiges Faktum festgestellt sein, das besonderer Beachtung wert ist. Daſs die Koeffizienten, die man durch Beobachtung der stationären Strömung festgestellt hat, bei den höheren Reibungen mit denjenigen durch die Schwingungsbeobachtungen ermittelten übereinstimmen, könnte in diesem Fall vielleicht damit erklärt werden, daſs die wechselnde Strömung bei den höheren Dämpfungen einer stationären Strömung ähnlicher wird. Hinzufügen will ich noch, daſs ein Einfluſs des zweiten Differentialquotienten: $\frac{d^2 V}{d t^2}$ auf die Dämpfung nicht zu konstatieren ist, falls man eine lineare Beziehung zu Grunde legt. Ein dem zweiten Differentialquotienten zugefügter Koeffizient kann nur auf die Schwingungsdauer einen Einfluſs aus-

üben. Ein solcher ist aber, abgesehen von dem aus der Differentialgleichung hervorgehenden (s. S. 588) nicht zu bemerken.

Wenn es nach den vorausgehenden Bemerkungen unwahrscheinlich ist, dafs die geschilderten Tatsachen durch die Reibung der Flüssigkeit bedingt sind, so steht es auf der anderen Seite sicher, dafs durch die Nachdehnung ganz ähnliche Erscheinungen hervorgerufen werden können.

Boltzmann hat, hauptsächlich von den Streintzchen Versuchen ausgehend, deren für unsere Bestrachtungen wichtige Ergebnisse oben erwähnt worden sind, eine mathematische Analyse der Nachdehnungserscheinungen vorgenommen[1]. Seine Betrachtungsweise scheint vorzugsweise zu einer weiteren Analyse der von mir untersuchten Erscheinungen geeignet, weil ihnen keine bestimmte Voraussetzung über die Konstitution des Körpers, der die elastische Nachdehnung zeigt, zu Grunde liegt. Es handelt sich um rein mathematische Formulierungen. Aufserdem lassen seine Entwicklungen bei jedem Schritt eine Prüfung des Gültigkeitsbereichs der Differentialgleichungen zu und geben äufserst mannigfaltige Anregungen zur Anstellung von neuen Experimenten. Erst nach diesen Experimenten wird man zu Vorstellungen über die Konstitution der Substanzen, welche die Nachdehnungserscheinungen hervorrufen, gelangen können. Eine solche Theorie ist dann von Maxwell aufgestellt worden.

Ich will hier den Gedankengang von Boltzmann kurz skizzieren, da ich jedenfalls im weiteren Verlauf meiner Untersuchungen hierauf zurückkommen werde. Boltzmann nimmt an, dafs die aus dem Elastizitätsgesetz resultierende zur Zeit wirkende elastische Kraft — Normal- oder Tangentialkraft — durch vorausgegangene Deformationen eine Verminderung erfährt, die proportional ist dem Zeitelement, während dem die Deformation einwirkt, der Gröfse dieser Deformation und einer Funktion der Zeit, die seit dieser vorausgegangenen Deformation verflossen ist. Das Integral, das die Summe aller derartigen kraftvermindernden Einwirkungen darstellt, kann also in der Form $\int_0^\infty d\,\omega\,\psi(\omega)\,\vartheta\,(t-\omega)$

1) Zur Theorie der elastischen Nachwirkung. Poggendorffs Annalen, Ergänzungsbd. 7 S. 624.

geschrieben werden, wobei ϑ die deformierenden Einwirkungen bedeutet und t und ω die bezüglichen Zeitvariabeln. Boltzmann formt nun die aus dieser Voraussetzung sich ergebenden Elastizitätsgleichungen so, dafs sie die Bedingungen für eine Reihe von ihm angegebener Versuche wiedergeben. Aus den Ergebnissen dieser Versuche kann man dann auf die Form der von ihm zunächst unbestimmt gelassenen Funktion $\psi(\omega)$ schliefsen. Boltzmann entwickelt die Beziehungen zunächst für Torsionsversuche. Sie lassen sich aber leicht auch auf unsere Anordnungen einer gespannten Membran anwenden, wenn man einige vereinfachende Voraussetzungen macht, wie sie ähnlich bei den Torsionsgleichungen ebenfalls gemacht werden. Es treten dann in diesen Gleichungen die von uns stets angewendeten Variabeln des hydrostatischen Drucks und der Volumverschiebungen statt des Drehungsmomentes und der Winkeländerungen auf.

Boltzmann hat die Gleichungen auch auf das Schwingungsproblem angewendet und findet für den Extinktionskoeffizienten folgende Beziehung

$$E = \frac{n}{2\mu}\int_0^\infty \sin(n\omega)\,\psi(\omega)\,d\omega,$$

wobei n dem reziproken Wert der Schwingungsdauer proportional ist. Indem er die Gröfse des logarithmischen Dekrements als von der Schwingungsdauer abhängig auffafst, kann er unter Benutzung des dritten Fourierschen Satzes aus der vorhergehenden Formel die Zeitfunktion $\psi(\omega)$ ableiten. Sie ergibt sich zu $2\mu\int_0^\infty \chi\left(\frac{2\pi}{n}\right)\sin(nt)\,dn$, wobei $\chi\left(\frac{2\pi}{n}\right)$ das logarithmische Dekrement in seiner Abhängigkeit von $\frac{2\pi}{n}$ = der Schwingungsdauer darstellt. Boltzmann gelingt es dann auch, die von Streintz beobachtete Unabhängigkeit des logarithmischen Dekrements von allen Versuchsbedingungen durch seine Formeln darzustellen.

Es wäre danach möglich, dafs unsere merkwürdigen Ergebnisse, die mit der Boltzmannschen Darstellung der Nach-

dehnungserscheinungen vereinbar ist, durch die Nachdehnung der Gummimembran bedingt sind.

Ist dies der Fall, läfst sich insbesondere die Abhängigkeit der Gröfse des Dämpfungskoeffizienten, die wir beobachtet haben, auf die Nachdehnungserscheinungen zurückführen, und hat die Flüssigkeitsreibung keinen Anteil an denselben, so mufs dieser Einflufs in den Fällen verschwinden, in denen die Wirkung der Flüssigkeitsreibung in den Vordergrund tritt, also bei den durch die Anwendung der Dämpfungsschraube gesteigerten Dämpfungen. Dies scheint in der Tat der Fall zu sein, wie das folgende Beispiel lehrt. In dem Versuch vom 4. VII. fand ich bei der geringen Reibung der Flüssigkeitssäule, die in der einfachen, nicht verengten Röhre stattfand, bei 0 Druck und einer Schwingungsdauer von $T = 20{,}7$ eine Dämpfungskonstante von 13,4; bei 9 cm Hg Druck und $T = 9{,}6$ eine Dämpfungskonstante von 15,1, also ein Verhältnis der Dämpfungskonstanten von 1,13. Als ich durch die Dämpfungsschraube die Reibung vermehrte, wuchs bei Druck 0 und $T = 9{,}7$ der Koeffizient auf 21,0 und bei Druck 9 cm und $T = 18{,}2$ der Koeffizient auf 20,4. In dem letzteren Fall war das Verhältnis der durch die beiden Schwingungsversuche bestimmten Koeffizienten gleich 1,03, also nahezu 1. Dies würde also mit der Annahme, dafs die Abhängigkeit des Dämpfungskoeffizienten von der Schwingungsdauer durch die Nachdehnungserscheinungen und nicht durch die Flüssigkeitsreibung hervorgerufen wird, bestätigen. Leider stehen mir bis jetzt keine weiteren derartigen Versuche zur Verfügung.

Auch in der Tatsache, dafs bei den höheren Dämpfungen und den Ausströmungsversuchen berechnete Koeffizienten sehr nahe übereinstimmen, kann man eine Bestätigung dieser Annahme erblicken. Es überwiegen bei hohen Dämpfungen die Reibungswiderstände der Flüssigkeit in der Röhre, die sich ebenso gut durch die Untersuchung der stationären Strömungen ermitteln lassen, wenn, wie dies oben auseinandergesetzt wurde, stationäre und veränderliche Strömungen denselben Regeln folgen.

Das Beobachtungsmaterial, das mir zur Verfügung steht, würde wohl eine noch viel eingehendere Analyse in der Richtung,

die ich durch die vorhergehenden Erörterungen angedeutet habe, zulassen. Ich habe es durchaus nicht vollständig ausgebeutet. Insbesondere habe ich die Beziehungen, die ich hier mehr nach der qualitativen Seite entwickelt habe, quantitativ noch nicht näher verfolgt. Ich habe dies absichtlich unterlassen, weil ich meine Versuche jetzt nach diesen Entwicklungen, die ich erst im Verlauf der Bearbeitung vorgenommen habe, durch den Fragen, die sich hier erheben, besser angepafste ersetzen kann.

Die Ergänzung werde ich in einer weiteren Arbeit bringen. Für jetzt genügt es, die Gesichtspunkte, von denen aus eine Analyse dieser Erscheinungen vorgenommen werden kann, entwickelt zu haben. Einer praktischen Verwertung der Ergebnisse meiner theoretischen Analyse und der experimentellen Untersuchung zur Korrektur der von einem gelieferten Kurvenmanometer steht kein wesentliches Hindernis im Wege. Bei den höheren Dämpfungen, bei denen die Korrektur der Dämpfung wesentlich ist, tritt ein Zweifel an der Richtigkeit der durch die Schwingungsversuche ermittelten Koeffizienten zurück, weil in diesem Fall die Ausflufsversuche annähernd dasselbe Resultat ergeben haben. Bei den niederen Dämpfungen wird die notwendige Korrektur der Kurven an sich von geringerem Belang. Selbstverständlich mufs man den durch die Schwingungsversuche ermittelten Koeffizienten benutzen. Die Differenzen der auf diese Weise bestimmten Koeffizienten sind an sich nicht so bedeutend, als dafs die Korrektur an Sicherheit wesentlich einbüfsen würde. Die noch bestehende Unsicherheit kann man dadurch vermindern, dafs man die Schwingungsdauer bei dem zur Bestimmung des Koeffizienten dienenden Schwingungsversuch annähernd so grofs wählt als die Dauer der periodischen Druckveränderung, die man durch das Manometer messen will. Will man also etwa die Druckveränderungen während eines Pulses in der Arterie bestimmen, so wird man die Dauer der Schwingungen, aus der man die Gröfse der Dämpfung ermitteln will, gleich der Dauer eines Pulses wählen. Die geringen Unterschiede der beiden Bewegungen, der reinen Eigenschwingung in dem einen Fall und der er-

zwungenen in dem anderen, können von keiner Bedeutung für die Ermittlung des Dämpfungskoeffizienten mehr sein.

Zur Klärung der Zweifel, die noch bestehen, stehen aufser Versuchen, die man nach den Boltzmannschen Entwicklungen anstellen kann, noch zwei weitere Wege offen, die ich der nächsten Abhandlung betreten werde. Einmal können wir in den zu untersuchenden periodischen Bewegungen, die durch das Manometer registriert werden, ganz ähnliche durch eine Maschine hervorbringen (s. oben), verschieden grofse Dämpfungen anwenden, und zusehen, ob durch Anwendung der aus den Schwingungsversuchen ermittelten Dämpfungskoeffizienten die Reduktion aller unter den verschiedensten Umständen erhaltenen Kurven auf ein und dieselbe von der Maschine gelieferte periodische Schwankung gelingt. Aufserdem ist aber die weitere Prüfung der Übereinstimmung unserer Beobachtungen mit der Theorie auch noch durch die genaue Analyse des ganzen Verlaufs der Schwingungskurve möglich. Für die Feststellung der gröfsten Dämpfungskoeffizienten, bei deren Anwendung die Kurve aperiodisch verläuft, steht uns überhaupt kein anderer Weg zur Verfügung. Ich habe ihn zu dem letzteren Zweck auch schon beschritten, werde jedoch die Veröffentlichung meiner Resultate verschieben, bis ich meine weiteren Experimente, deren Ziel ich vorher angedeutet, ausgeführt habe. Vgl. S. 596 unten.

Zu meinen Darlegungen will ich noch hinzufügen, dafs die Reibung der Luftsäule, die bei den Schwingungsversuchen sich in der Röhre mitbewegte, keinen merkbaren Einflufs auf die Bestimmung des Dämpfungskoeffizienten ausübte. Im Versuch vom 7. VIII. war die Luftsäule, die zwischen das Druckgefäfs und die Flüssigkeitssäule eingeschaltet war, einmal 55 cm lang, in einem zweiten Fall war die gleich grofse Flüssigkeitssäule von dem Druckgefäfs nur durch eine 3 cm lange Strecke getrennt. Wie ich oben schon angegeben habe, war in beiden Fällen die Schwingungsdauer gleich grofs, das logarithmische Dekrement ebenfalls (0,278 und 0,277), also auch der Dämpfungskoeffizient.

Dagegen kann eine Biegung der Röhre, in der die Flüssigkeit schwingt, eine wenn auch geringfügige Vergröfserung des

Koeffizienten bewirken. So im Versuch vom 23. VI. von 14,4 auf 15,5 oder bei einer anderen Schwingungsdauer von 10,9 auf 11,9.

Auch in den Versuchen mit den schwingenden Luftsäulen habe ich das logarithmische Dekrement bestimmt und hier ähnlich wie bei den Flüssigkeitsschwingungen eine merkwürdige Konstanz beobachtet.

In Versuch vom 9. VI.: $T = 1{,}09$ Dekrement = 0,4536,
12. VI.: $T = 1{,}23$ » = 0,4668,
20. VII: $T = 1{,}63$ » = 0,4360.

Ich führe diese Tatsachen hier nur an, ohne dafs ich theoretische Erörterungen anknüpfe. Ich mufs sie für spätere Gelegenheiten versparen. Ahnliches kann ich über die Bestimmung des Dämpfungskoeffizienten bei einem Hebelmanometer sagen. Die Dämpfung des in der Luft frei schwingenden Hebels ist sehr gering. Wie weit die Dämpfung des an der Trommelfläche anliegenden Hebels in Betracht kommen kann, müssen erst weitere Versuche lehren.

Die Regeln für eine Korrektur der registrierten Kurven.

Wir haben jetzt die Methoden kennen gelernt, nach denen man aus den Schwingungsbeobachtungen die beiden wichtigen Konstanten: die wirksame Masse und den Dämpfungskoeffizienten bestimmen kann. Wir haben es uns angelegen sein lassen, unsere Bestimmungsmethoden theoretisch möglichst exakt zu begründen. Es bleibt uns jetzt noch übrig, die Methode zu besprechen, nach der man mit Hilfe dieser Koeffizienten eine Korrektur der von einem Manometer registrierten Kurven vornehmen kann. Die Methode gestaltet sich theoretisch sehr einfach.

Wie schon Mach hervorgehoben hat, folgt aus der Differentialgleichung, die wir unseren Betrachtungen zu Grunde gelegt haben, eindeutig der wirkliche Ablauf der zu registrierenden Bewegung aus der registrierten, wenn die drei Konstanten der Gleichung festgestellt sind. Es ergibt sich hierfür folgende Beziehung:

$$P = E \cdot x + \frac{k \cdot dx}{dt} + m \frac{d^2 x}{dt^2},$$

die sich nach unseren früheren Erörterungen für die Aufzeichnung von Druckkurven umwandelt zu:

$$p = E' \cdot V + K' \frac{dV}{dt} + M' \frac{d^2 V}{dt^2} \quad . \; . \; \text{(Gl. 29)}$$

Um die Korrektur einer registrierten Druckkurve E'V — denn dieser Wert ist dem registrierten Druck gleich — vorzunehmen, hat man zunächst aus den auf dem Film oder dem berufsten Papier registrierten Ordinaten der Kurve x die Volumverschiebungen zu berechnen. Hierzu mufs man die Stiftverschiebung, die einer bestimmten Volumverschiebung entspricht, kennen, aufserdem die Vergröfserung der Stiftverschiebung durch den optischen Apparat bei dem Stiftmanometer oder durch den Hebel bei dem Hebelmanometer. Dann kann man aus der Änderung der Ordinaten die Änderungen der Volumverschiebungen oder die Stromstärken dV/dt berechnen, ebenso die Anderungen der Stromstärken d^2V/dt^2. Die Konstanten E' hat man durch die Volumeichungen bestimmt, die Konstanten M' und K' durch die Schwingungsversuche. Man kann also alle Glieder der Differentialgleichung berechnen und als Summe derselben den korrigierten Druck berechnen.

Das Verfahren ist sehr umständlich und ungeau. Es gehört dazu die Kenntnis des nur schwer zu bestimmenden Verhältnisses der Volum- zu der Stiftverschiebung, ferner der aus den ungenauen Volumeichungen nur schwer zu ermittelnde Elastizitätskoeffizient E'. Aufserdem wird mit drei Konstanten E', M' und K' gerechnet.

Diese Konstantenzahl kann man auf zwei reduzieren, wenn man eine kleine Rechenoperation mit der Differentialgleichung ausführt. Man dividiere die ganze Gleichung durch E' und man erhält folgende Gleichung:

$$V\,\text{korr.} = V\,\text{reg.} + \frac{K'}{E'} \cdot \frac{dV}{dt} + \frac{M'}{E'} \frac{d^2 V}{dt^2}.$$

V reg. bedeutet den registrierten Wert der Volumverschiebung und V korr. den korigierten Wert. In dieser Gleichung kommen nur mehr zwei Konstanten: M'/E' und K'/E' vor. Ich will dies als fiktive Masse und Dämpfungskoeffizienten bezeichnen. Sie werden

bei den Schwingungsbeobachtungen ohne weiters aus der Schwingungsdauer und dem Dekrement erhalten, ohne dafs die Kenntnis des Elastizitätskoefffzienten nötig wäre. Unser Dividieren der Gleichung durch E' bedeutet dasselbe, als ob wir den Elastizitätskoeffizienten gleich 1 gesetzt hätten. Die Korrektur wird durch diese Operation schon sehr erleichert; aber es ist immer noch die Bestimmung des Verhältnisses der Volumverschiebung zu der Ordinatengröfse der Kurve u. s. w. nötig.

Aber auch diese Operation können wir vermeiden, wenn wir folgende Überlegung anstellen. Wir können die Annahme machen, dafs Stiftverschiebung und Ordinatenlänge der registrierten Kurve in einem beschränkten Druckbezirk der Volumverschiebung proportional sind. Je mehr wir diesen Druckbezirk, den wir untersuchen, einschränken, um so genauer wird dies zutreffen. Die Volumverschiebung V ist also proportional der Ordinate der auf dem Film oder der berufsten Trommel erhaltenen Kurve. $V = C \cdot x$. Unsere Gleichung verwandelt sich dann in die für uns so bequeme Form:

$$X_{\text{korr.}} = X_{\text{reg.}} + \frac{K'}{E'} \cdot \frac{dx}{dt} + \frac{M'}{E'} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} \quad . \quad . \quad \text{(Gl. 30)}$$

Wir erhalten also nach dieser Beziehung unmittelbar die Werte der korrigierten Ordinaten aus den registrierten und brauchen dazu nur die Werte der fiktivĕn Massen M'/E' und des fiktiven Dämpfungskoefizienten K'/E' zu kennen. Aus den korrigierten Ordinaten können wir dann den korrigierten Druck nach den gewöhnlichen Eichungen der Manometer ableiten. Bei diesem Verfahren erteilen wir gewissermafsen dem Lichtstrahl, der die Kurven aufschreibt, eine solche Masse und einen solchen Dämpfungskoeffizienten, dafs die aufgezeichneten Schwingungskurven resultieren. Wir müssen dabei aber eines bedenken: die fiktive Masse wechselt in den verschiedenen Druckbezirken, in denen das Instrument seine Kurven aufschreibt. Es wechselt ja im allgemeinen in den verschiedenen Druckbezirken der wirkliche Elastizitätskoeffizient E', mit dem wir in die wirksame konstante Masse M' dividiert haben, um die fiktive Masse zu erhalten. Aufserdem wechselt aber auch noch das Verhältnis: Volumverschiebung zu

Stiftverschiebung, unsere Gröfse R, die in unsere Konstante C der Beziehung $V = C \cdot x$ eingeht. Wir müssen also die Gröfse der Masse M' für so kleine Druckbezirke, dafs sie innerhalb derselben oder, was dasselbe ist, die Schwingungsdauer konstant ist, durch Schwingungsversuche feststellen.

Bei unseren früheren Betrachtungen liefsen wir für ein und dieselbe Konfiguration der bewegten Flüssigkeit etc. die Masse als konstant gelten; für die praktische Verwertung unserer Theorie zur Korrektur der Kurven nehmen wir umgekehrt den tatsächlichen Elastizitätskoeffizienten in den verschiedenen Druckbezirken, als konstant, nämlich gleich 1, an. Der wesentliche Vorzug, den die letztere Methode für die Korrektur der Kurven hat, liegt hauptsächlich darin, dafs die Schwingungszeit genauer und leichter zu ermitteln ist als die Gröfse des wirklichen Elastizitätskoeffizienten E'. Die Vorteile dieser Methode werden wir bei der praktischen Verwertung derselben sehen. Klar ist, dafs in dem ersten Teil dieser Untersuchung, in dem es uns darauf ankam, die Resultate der Schwingungsversuche theoretisch zu begründen, eine derartige vereinfachte Betrachtungsweise nicht angewendet werden konnte. Hier konnten wir nur mit den wirklichen Koeffizienten E', M' und K' arbeiten.

Aus unseren Erörterungen ergibt sich für die praktische Verwendung von elastischen Manometern zu Blutdruckbestimmungen die einfache Forderung: Man führe mit diesem Manometer Schwingungsversuche in den Druckbezirken, in denen die Druckschwankung vor sich geht, sowohl vor als nach dem Blutdruckversuch aus. Aus dem Schwingungsversuch bestimme man die Dauer und das Dekrement der Schwingungen. Die Schwingungsversuche müssen aber mit genau demselben System angestellt werden, das während des Blutdruckversuchs zur Verwendung kam. Es dürfen weder Massen von dem System fortgenommen noch zu ihm zugefügt werden. Die Schwingungsversuche werden deshalb am besten mit Apparaten, wie sie in der Fig. 16 dargestellt sind, ausgeführt.

Wird die Schwingungsdauer und das Dekrement der Schwingungen angegeben, so hat man alle Anhaltspunkte, um die Zu-

verlässigkeit der von dem Manometer aufgezeichneten Kurven zu beurteilen.

Es läfst sich jetzt leicht festsetzen, welche Werte die beiden Konstanten haben müssen, damit eine bestimmte Ordinatengeschwindigkeit oder Beschleunigung von dem Manometer aufgezeichnet werden kann, ohne dafs Fehler in der Ordinatenlänge über einen bestimmten Betrag entstehen. Diese Werte wird man zweckmäfsig in einer Tabelle zusammenstellen.

Zusammenstellung der wichtigsten Formeln.

Um die praktische Verwendung der in dieser Abhandlung aufgestellten Regeln und Formeln für die Beurteilung der Leistungen eines Manometers und für die Korrektur der von einem Manometer aufgezeichneten Druckkurven zu erleichtern, gebe ich zum Schlufs eine Zusammenstellung der Formeln, die sich besonders zur Rechnung eignen.

Die Grunddifferentialgleichung, nach der aus dem für einen bestimmten Zeitmoment aufgezeichneten Druck der Druck bestimmt werden kann, der tatsächlich auf das Manometer gewirkt hat, lautet:

$$p_{\text{korr.}} = p_{\text{reg.}} + K' \cdot \frac{dV}{dt} + M' \cdot \frac{d^2 V}{dt^2}.$$

In dieser Gleichung ist E' der Elastizitätskoeffizient des Manometers. Er ist gleich: $\frac{\varDelta p}{\varDelta V}$, d. h. numerisch gleich dem Druckzuwachs, der durch die Verschiebung der Volumeinheit einer inkompressiblen Flüssigkeit durch den Anfangsquerschnitt, d. h. den der Manometertrommel benachbarten Querschnitt der Manometerröhre, hervorgebracht wird. V sind diese Volumverschiebungen, K' ist der Dämpfungskoeffizient und M' die wirksame Masse des Manometersystems.

Diese Gleichung kann zum Zweck der Korrektur der aufgeschriebenen Kurven in folgende umgewandelt werden:

$$x_{\text{korr.}} = x_{\text{reg.}} + \frac{K'}{E'} \frac{dx}{dt} + \frac{M'}{E'} \cdot \frac{d^2 x}{dt^2}.$$

Hierin bedeutet x die wirkliche Ordinatenlänge der aufgeschriebenen Kurve. Den Quotienten $M'/E' = \mu$ habe ich als fiktive Masse, den Quotienten $K'/E' = \varkappa$ als fiktive Dämpfung bezeichnet.

Läfst man das Manometersystem Eigenschwingungen ausführen, so ist die Dauer T dieser Schwingungen =

$$T = \frac{4\pi M'}{\sqrt{4M'E' - K'^2}} \text{ oder } = T = 2\pi\sqrt{\frac{M'}{E'}},$$

falls die Dämpfung nicht beträchtlich ist. Das logarithmische Dekrement der Schwingungen wird zu:

$$D = \frac{K' \cdot T}{4M'}.$$

Umgekehrt kann man aus der Dauer der Eigenschwingungen T und dem Dekrement der Schwingungen D die fiktive Masse und die fiktive Dämpfung berechnen:

$$\mu = \frac{M'}{E'} = \frac{T^2}{4\pi^2 + 4D^2} = \frac{T^2}{39{,}48 + D^2}$$

oder falls das Dekrement klein ist,

$$\mu = \frac{T^2}{4\pi^2} = 0{,}02533\, T^2.$$

Nach der letzten Formel wird μ zu grofs

um 1%, wenn $D = 0{,}318$
» 2%, » $D = 0{,}447$
» 3%, » $D = 0{,}548$
» 4%, » $D = 0{,}633$
» 5%, » $D = 0{,}707$ ist.

Die fiktive Dämpfung berechnet sich zu:

$$\varkappa = \frac{4D}{T} \cdot \mu$$

oder wenn das logarithmische Dekrement klein ist, wird

$$\varkappa = \frac{D \cdot T}{\pi} = 0{,}3183\, D\, T.$$

Die Fehler, die man bei der Anwendung dieser einfacheren Formel begeht, sind ebenso grofs, wie die oben angegebenen.

Die Koeffizienten E' und M' lassen sich annähernd aus den Dimensionen berechnen. Hierzu sind folgende Formeln von Nutzen:

Die Form der deformierten Membran ist im allgemeinen als diejenige eines Parboloids aufzufassen. Die Gleichung dieser Fläche lautet:

$$x = \frac{f(\varrho^2 - y^2)}{\varrho^2},$$

wenn ς den Radius der Membran und f den Biegungspfeil, d. i. die Entfernung des Mittelpunktes der Membran von seiner natürlichen Lage, bedeutet. Die Gröfse V der Ausbauchung der Membran ist dann =

$$V = F(\varrho) \cdot f = \frac{\varrho^2 \pi}{2} \cdot f.$$

Würde die Membran zu einer elastischen Fläche deformiert, so lautete die Gleichung derselben:

$$x = \frac{f(\varrho^2 - y^2)^2}{\varrho^4}. \quad F(\varrho) \text{ wird dann zu: } \frac{\varrho^2 \pi}{3}.$$

Befindet sich in dem starren Röhrensytem des Manometers eine inkompressible Flüssigkeit von dem spezifischen Gewicht s, so beträgt die wirksame Masse dieser Flüssigkeit:

$$M' = s \sum \left(\frac{L}{Q}\right),$$

worin L die Längen und Q die Querschnitte der einzelnen mit Flüssigkeit erfüllten Röhrenteile bedeuten.

Für ein Röhrenstück, welches die Form einer Kugelzone von der Höhe h (von dem Mittelpunkt der Kugel ab) und dem Radius r besitzt, wird

$$M' = \frac{1}{2 r \pi} \left[ln \left(\frac{r + h}{r - h} \right) \right].$$

Bei einem konischen Röhrenstück wird

$$M' = \frac{h(r - \varrho)}{\varrho r^2 \pi},$$

worin r und ϱ die Radien der beiden Endflächen des abgestutzten Kegels und h die Höhe desselben bezeichnen.

Befindet sich die Flüssigkeit in einer elastischen Röhre, so wird die wirksame Masse

$$M' = \frac{sL}{Q}\left(1 + \frac{E' \cdot L}{2\varphi}\right) = \frac{s \cdot L}{Q}\left(1 + \frac{E'}{2\psi}\right),$$

wenn $\frac{\Delta p}{\Delta Q} = \varphi$ oder $\frac{\Delta p}{\Delta V} = \psi$ die Elastizitätskoeffizienten des Schlauches sind.

Die wirksame Masse der Flüssigkeit, die sich hinter (von dem Anfangsquerschnitt gerechnet) einem elastischen Verbindungsstück befindet, das die soeben angegebenen Dimensionen und Konstanten besitzt, wird durch diese elastische Verbindung um das $\left(1 + \frac{E'}{\psi}\right)$ fache vermehrt.

Die wirksame Masse der Luft, die sich in den Röhrenverbindungen befindet, berechnet sich zu:

$$\frac{s \cdot L}{Q} + \frac{sE'L^2}{2\chi}.$$

Vermutlich verlaufen die Zustandsänderungen in der Luft im wesentlichen isothermisch. Dann wird der Elastizitätskoeffizient $\chi = \frac{dp \cdot V}{dV}$ der Luft $= p$. Dann wird

$$M' = \frac{s \cdot L}{Q} + \frac{sE' \cdot L^2}{2p} = \frac{s \cdot L}{Q} + \frac{6{,}07}{10^{10}} E' \cdot L^2.$$

Ist Luft irgendwo in einem mit inkompressibler Flüssigkeit erfüllten Röhrensytem eingeschaltet, sei es in Form von störenden Luftblasen oder bei dem Lufttonographen zur Druckübertragung, so wird durch diese Luftsäulen die wirksame Masse M' der hinter diesen sich befindenden Flüssigkeitssäulen um das

$$\left(1 + \frac{E' \cdot V}{\chi}\right) \text{ oder } \left(1 + \frac{E' \cdot V}{p}\right) \text{fache}$$

vergröſsert. V ist das Volum der Luft, p der mittlere Druck, unter dem sie steht. Bei adiabatischen Zustandsänderungen ist $\chi = k.p = 1{,}4 \times p$.

Die wirksame Masse der Gummimembran ist annähernd gleich:

$$\frac{s \cdot D}{Q} \times \frac{F(\varrho)}{R} \text{ oder gleich: } \frac{m}{2\,QR},$$

wenn die deformierte Membran ein Paraboloid ist. In dieser Formel ist m die Masse der Membran, Q der Querschnitt, s das spezifische Gewicht und D die Dicke der Membran. R ist der Reduktionsfaktor der Tabelle 5.

Eine annähernde Vorstellung von der Masse des Stiftes geben die Formeln

$$\frac{m}{Q \cdot R} < M' < \frac{4\,m}{Q \cdot R},$$

in denen Q der Trommelquerschnitt ist.

Über die Verwendung der beiden Formeln s. S. 566 f.

Die Trägheitskräfte eines mit der Membran verbundenen Hebels oder Spiegels lassen sich auf die Masse eines auf der Membran befestigten Stiftes zurückführen nach der Formel:

$$m = \frac{\Theta}{a^2}.$$

Θ bedeutet hier das Trägheitsmoment des Hebels oder Spiegels und a die Entfernung des Mittelpunktes der Membran von der Achse des Hebels.

Inhaltsübersicht.

1. Einleitung.
2. Die Theorie des mit inkompressibler Flüssigkeit gefüllten Manometers. S. 452.
3. Die Konstanten des Manometers können durch Schwingungsversuche bestimmt werden. S. 457.
4. Der zu den Schwingungsversuchen gebrauchte Apparat. S. 457.
5. Allgemeiner Gang der Versuche. S. 463.
6. Theorie der Schwingungen des elastischen Manometers. S. 466.
7. Die Unabhängigkeit der Schwingungsdauer von der Amplitüde. S. 473.
8. Die Abhängigkeit der Schwingungsdauer von der Länge der schwingenden Flüssigkeitssäule. S. 478.

9. Der Einflufs des Querschnitts der schwingenden Flüssigkeitssäule auf die Schwingungsdauer. S. 481.
10. Die vorhergehenden Entwicklungen bleiben gültig, auch wenn die Geschwindigkeit der Flüssigkeit innerhalb eines Querschnittes der Manometerröhre nicht konstant ist. S. 493.
11. Form der deformierten Membran. Feststellung von E' durch die Volumeichungen. Einflufs der Nachdehnung auf die Eichung. S. 497.
12. Einflufs von E' auf die Schwingungsdauer. S. 509.
13. Schlufsbetrachtung über die Formel: $T = 2\pi\sqrt{\frac{M'}{E'}}$. S. 512.
14. Die wirksame Masse der Flüssigkeit in den Röhrenverbindungen, die zu hämodynamischen Versuchen gebraucht werden. S. 516.
15. Die wirksame Masse der Flüssigkeit in elastischen Röhren. S. 521.
16. Die wirksame Masse der Gummimembran. S. 528.
17. Die wirksame Masse des Stiftes. S. 531.
18. Die wirksame Masse der Luft bei dem Lufttransmissionsverfahren. S. 535.
19. Beziehung der Analyse des Lufttransmissionsverfahrens zu der Theorie der Schallwellen. S. 543.
20. Die wirksame Masse der Flüssigkeit in dem Lufttonographen. Einflufs von Luftblasen. S. 547.
21. Die Reduktion der Trägheitskräfte des Hebels und des Spiegels bei dem Hebel- oder Spiegelmanometer auf diejenige eines auf der Membran aufgeklebten Stiftes. S. 552.
22. Konstruktion der Verbindung von Membran und Spiegel oder Hebel. S. 554.
23. Die wirksame Masse bei dem Spiegelmanometer. S. 558.
24. Die wirksame Masse bei dem Hebelmanometer. S. 561.
25. Rückblick auf die vorausgegangenen Entwicklungen. S. 570.
26. Kritik anderer Registrierverfahren. S. 575.
27. Dämpfung des elastischen, mit Flüssigkeit gefüllten Stiftsmanometers. S. 579.
28. Unabhängigkeit des logarithmischen Dekrements von der Amplitüde. S. 582.
29. Einflufs der Gröfse der Dämpfung auf die Schwingungsdauer. S. 583.
30. Der Dämpfungskoeffizient K' ist von der Schwingungsdauer abhängig. S. 590.
31. Ist diese Abhängigkeit durch die Reibung der Flüssigkeitssäulen oder durch die Nachdehnung der Gummimembran bedingt? S. 593.
32. Die Regeln für eine Korrektur der registrierten Kurven. S. 604.
33. Zusammenstellung der wichtigsten Formeln. S. 608.

Zusatz

zu der Abhandlung: »Über den wahren Harnstoffgehalt des menschlichen normalen Harns und eine Methode, denselben zu bestimmen.«

Von

Dr. med. **Wm. Ovid Moor.**

Zu Seite 151 Bd. 44 dieser Zeitschrift mache ich, um Mifsverständnisse zu vermeiden, folgenden Zusatz: »Manchmal ist eine solche Lösung von KHO in Amylalkohol zu stark gelb gefärbt, wodurch die Endreaktion an Deutlichkeit verlieren könnte; in diesem Falle mufs die Lösung zuerst mit pulverisierter Tierkohle gut geschüttelt werden.«

